14A

VALTION MAATALOUSKOETOIMINNAN JULKAISUJA

N:ot 26—34

HELSINKI 1930
VALTIONEUVOSTON KIRJAPAINO

IMPERIAL BUREAU OF
PLANT GENETICS: HERBAGE PLANTS,
AGRICULTURAL BUILDINGS,
ABERYSTWYTH, WALES.

This set of publications named

VALTION
MAATALOUSKOETOIMINNAN
JULKAISUJA

contains the scientific papers,
with abstracts in English or
German, published
by
THE CENTRAL BOARD OF AGRICULTURAL
RESEARCH
HELSINKI, SUOMI (FINLAND)

Diese Publikationsreihe

VALTION
MAATALOUSKOETOIMINNAN
JULKAISUJA

enthält mit Referaten in Deutsch
oder Englisch die wissenschaft-
lichen Veröffentlichungen
DES ZENTRALAUSSCHUSSES FÜR DAS LAND-
WIRTSCHAFTLICHE VERSUCHSWESEN
IN FINNLAND

SISÄLLYSLUETTELO:

N:o 26. J. Valmari ja Viljo Kanervo: Kasvien vedenkäyttö ja säätekijät (Referat: Der Wasserverbrauch der Pflanzen mit Berücksichtigung der Witterungselemente.) 90 s.

N:o 27. Solmu Parkku: Kertomus Sikatalouskoeasemalla tehdyistä ruokintakokeista v. 1928. (Referat: Bericht über vergleichende Fütterungsversuche mit verschiedenen Schweinestämmen an der Versuchsstation für Schweinewirtschaft 1928.) 30 s.

N:o 28. Ilmari Poijärvi ja Elsa-Maija Listo: Suomessa tuotetun lehmänmaidon kokoomuksesta ja lehmien siitä johtuvasta tuotantorehuntarpeesta. (Referat: Über die Zusammensetzung der in Finnland produzierten Kuhmilch und den dadurch bedingten Bedarf der Kühe an Produktionsfutter.) 50 s.

N:o 29. Armo Teräsvuori: Über die Bodenazidität mit besonderer Berücksichtigung des Elektrolytgehaltes der Bodenaufschlämmungen. (Selostus: Maan happamuudesta erikoisesti maauutteiden elektrolytipitoisuutta silmälläpitäen.) 197 s. + taul. 18 s.

N:o 30. E. F. Simola: Kirsi- ja vajovesisuhteiden tutkimuksia maatalouskoelaitoksella ja osittain myös muualla Suomessa vuosina 1926—1929. (Referat: Bodenfrost- und Senkwasseruntersuchungen.) 61 s. + l. 11 s. + 1 kartta.

N:o 31. Vihtori Lähde: Heinänurmille vuosittain tai harvemmin annetun lannoituksen vaikutuksesta. Kenttäkoetuloksia vuosilta 1925—1929 ja lannoituksen kannattavaisuusvertailuja. (Referat: Über die Wirkung und Rentabilität einer alljährlich oder seltener bewerkstelligten Düngung der Grasäcker.) 88 s.

N:o 32. Lauri Keso: Kulttuuriteknillisiä maaperätutkimuksia erikoisesti ojaetäisyyttä silmälläpitäen. Viljelyksellisesti tärkeät maalajimme. Ojaetäisyyksien määräämisperusteet. (Referat: Kulturtechnische Bodenuntersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der Strangentfernung. Die ackerbaulich wichtigsten Bodenarten Finnlands. Die beim Bestimmen der Strangentfernung angewandten Methoden.) 327 s. + 2 l.

N:o 33. E. Kitunen: Rikkaruohojen hävittäminen kemiallisin keinoin. Selostus vuosina 1926—1929 suoritetusta kokeista. (Referat Unkrautbekämpfung durch chemische Mittel.) 99 s.

N:o 34. C. A. G. Charpentier: Laiduntarkkailu eräillä tiloilla Suomessa kesällä 1929 (Sammandrag: Beteskontroll på ett antal gårdar i Finland sommaren 1929; Summary: The control of pastures on some farms in Finland (Suomi) in 1929.) 114 s.

Ab. 633.2.033: 636.085.2 J (47.1)

VALTION MAATALOUSKOETOIMINNAN JULKAISUJA N:o 26

The water requirements of plants, with special reference to weather conditions.

KASVIEN VEDENKÄYTTÖ
JA
SÄÄTEKIJÄT

J. VALMARI JA VILJO KANERVO

German summary, pp. 81–88.

REFERAT:

DER WASSERVERBRAUCH DER PFLANZEN MIT BERÜCKSICHTIGUNG DER WITTERUNGSELEMENTE

Abstract: 581.111.05

HELSINKI 1930
VALTIONEUVOSTON KIRJAPAINO

Maanviljelystaloudellisen koelaitoksen maanviljelyskemian osastolla on vuosina 1914—1916, 1920, 1921 ja 1923 tutkittu eri kasvutekijäin vaikutuksia haihdutuskertoimeen. Professori ARTHUR RINDELL on julkaissut selonteon vuosina 1914—1916 suoritetuista kokeista. Näillä kokeilla oli tahdottu selvittää lannoituksen ja eritoten fosfatilannoituksen vaikutusta haihdutuskertoimeen. Sitä varten tehtiin myöskin yhden vuoden kokeissa saaduista satotuotteista typpi-, fosforihappo-, kali- ja kalkkimääräykset. Näiden tutkimusten julkaisemiseen professori RINDELL, jonka tehtäväksi se jäi, ei vielä ole saanut tilaisuutta.

Vuosien 1920 ja 1923 kokeissa on päähuomio kiinnitetty säätekijöiden vaikutusten selvittelyyn. V. 1923 voitiin jokapäiväisillä aktinometrisillä mittauksilla havainnoida säteilyenergiamäärätkin. Näitä tutkimuksia on ollut aikomus jatkaa ÅNGSTRÖMin pyranometriä säteilymittauksiin käyttämällä. Erinäisistä syistä ovat nämä säteilytutkimukset kuitenkin lykkäytyneet, jonka tähden olemme vastaavasti laajemmin selostaneet toisten tutkijain viime vuosina julkaisemia kasvien vedenkäyttöä ja säteilyä koskevia tutkimuksia.

Tikkurila, jouluk. 1929.

Tekijät.

Sisällysluettelo:

Sivu.

I. Haihdutuskertoin ja sen merkitys kasvituotannossa 7
II. Eri olosuhteiden vaikutus haihdutuskertoimeen 10
a) Maanesteen konsentration vaikutus 10
b) Maan vesipitoisuuden vaikutus 19
c) Sääsuhteiden vaikutus 20
III. Eri viljelyskasveille saatuja haihdutuskertoimia 28
IV. Maanviljelystaloudellisella koelaitoksella tehdyt tutkimukset 32
a) Aikaisemmat tutkimukset 32
b) Vuoden 1920 koesarjat 35
c) Vuoden 1921 koesarjat 42
d) Vuoden 1923 koesarjat 47
V. Säteilyenergia ja vesi kasvutekijöinä 57
VI. Yhteenveto maanviljelystaloudellisella koelaitoksella suoritetuista astiakokeista vv. 1920—1923 69
VII. Loppukatsaus ja päätelmät 72
Kirjallisuusluettelo 77
Referat 81

I. Haihdutuskertoin ja sen merkitys kasvituotannossa.

Vesi on sekä välittömästi että välillisesti vaikuttava kasvutekijä. Se muodostaa siihen liuonneine suoloineen sen väliaineen, jossa alkuliman elotoiminnat tapahtuvat. Sentähden sisältävätkin kaikki elävät kasvinosat vettä, viljakasvien yhteyttävät osat 75—80%, juurikasvit jopa 90 %. Lehdistä vesi pääsee haihtumaan ilmaan. Tämä transpiratio muodostaakin suurimman osan kasvien vedenkulutuksessa.

Transpiration kautta kulutettujen vesimäärien ilmaisemiseksi on kasvitieteessä käytetty useita vertailuperusteita.

Suurin käytännöllinen merkitys on käsitteellä transpiratiokoeffisientti l. haihdutuskertoin (k), joka ilmoittaa, millä luvulla kasvien tuottama maanpäällinen kuiva-ainemäärä (p) on kerrottava, jotta saataisiin sadon kasvukautena haihduttama vesimäärä (v). v = k p. Tälle luvulle on käytetty myöskin nimitystä ominainen vedenkulutus (Rindell 1917, p. 29).

Haihdutuskertoin määrätään siten, että astiakokeissa käytettävät vesimäärät mitataan ja, kun sato on korjattu, määrätään sen kuiva-ainesisältö. Silloin saadaan haihdutuskertoin jakamalla kasvien haihduttama vesimäärä sadon kuiva-ainepainolla. Jos toiselta puolen tunnetaan jonkun kasvin haihdutuskertoin määrätyissä olosuhteissa ja kuiva-ainesato, voidaan laskea esim. haihdutus hehtaarilta, joka on tärkeää kasvien vesi- ja energiataloutta tarkasteltaessa.

Kun kasvien haihduttama vesimäärä on varsin runsas — keskimääräinen haihdutuskertoin eri viljelyskasveilla vaihtelee n. 250 ja 750 välillä — herää kysymys, mikä fysiologinen tehtävä transpiratiolla on. Eri tutkijat ovat tutkineet eri tekijöiden vaikutusta transpiratioon ja tulleet erilaisiin käsityksiin sen fysiologisesta merkityksestä. Useimmat ovat sitä mieltä, että transpiratiovirtauksella on paitsi ravinnon kuljetusta muitakin tehtäviä. Niinpä on huomattu, että jos kasvit estetään haihduttamasta, ehkäistyy yhteyttämistulosten poistuminen lehtisoluista (Rywosch 1908, p. 121).

Vaikkakin transpiratio on fysiologisesti välttämätön, mikä ilmenee siitäkin, että vedenalaisilla kasveilla on todettavissa haih-

dutusvirtausta vastaavaa nesteen liikettä juurista yhteyttäviin osiin (Snell 1908, p. 213—249), on suureksi kohoava transpiratio energia- ja vesitalouden kannalta katsoen haitallinen.

Kasvutekijäin lain (Valmari 1921, p. 5), mukaan voi kukin kasvutekijä optimin kummallakin puolen tulla siksi tekijäksi, joka on toisiin kasvutekijöihin verraten epäedullisin. Esim. optimin sivuuttanut säteilyintensiteti voi kohottaa lehtien lämpötilan jopa 51°:seen (Stahl 1909) ja 15°:kin ympäröivän ilman lämpötilaa korkeammalle. Tällöin vaikuttaa tietysti transpiratio edullisesti alentamalla lämpötilaa. Säteilyn ollessa optimin alapuolella voi transpiration vaikutuksesta säteily joutua minimitekijäksikin.

Kasvien käyttämän säteilyenergiamäärän, I, voimme jakaa kolmeen komponenttiin: i_1 muuttuu yhteyttämisprosessissa kemialliseksi energiaksi ja voidaan vapauttaa organista ainetta polttamalla. Tämä on siis hyödyksi tuleva osa. Toinen komponentti, i_2, sitoutuu veden haihtuessa, ja kolmas, i_3, kulutetaan veden nostamiseen, juuriston maassa kehittyessään suorittamaan mekaniseen työhön ja kasvien elotoiminnassa tapahtuvissa eksotermisissä prosesseissa kehittyvän lämmön säteilyyn. Tällöin on

$$I = i_1 + i_2 + i_3.$$

Kun emme millään tavoin voi mitata emmekä arvioida i_3:n suuruutta, olemme pakoitettuja jättämään sen laskelmissamme varteen ottamatta. Se on joka tapauksessa i_2:een verrattuna vähäinen. Siten jää

$$I = i_1 + i_2.$$

Jos otaksutaan, että 1 kg sadon kuiva-ainetta sisältää keskimäärin 4 800 Kal., saadaan, kun veden haihtumisessa sitoutuu 10°—20° C lämpötilassa n. 600 Kal. 1 vesikiloa kohti [1]), esim. seuraava laskelma:

haihdutuskertoin 300
i_2 = veden haihtuminen 300 · 600 = 180 000 Kal.
i_1 = organisen aineen energiasisältö = 4 800 »
$i_1 + i_2 = 184\,800$ Kal.

i_1 on siis vain 2.6 % kasvien käyttämästä energiamäärästä. Laskelmasta näkyy myöskin, että mitä suurempi haihdutuskertoin on, sitä pienempi on energiasta hyödyksi tuleva osa.

Kun kasveilla on tarpeeksi säteilyenergiaa käytettävänä veden haihduttamiseen, esiintyy suuren transpiration toinen haitallinen vaikutus. Jos merkitsemme kasvien käytettävänä olevaa vesimäärää

[1]) Kaavasta $r = 607 - 0.708\ t$ (Wegener 1924, p. 115) saadaan 10°:ssa 599.9 ja 20°:ssa 592.8.

v:llä ja haihdutuskertointa k:lla, niin on maksimisato p = v:k niin kauan kuin vesi on minimitekijänä. Niinpä esim., jos kasvien käytettävissä oleva vesimäärä olisi 250 mm sademäärää vastaava [1]), josta kevätkosteuden osalle 50 mm ja sateena saatuna 200 mm, olisi maksimisato haihdutuskertoimen ollessa 250, 500 tai 750: 10 000, 5 000 ja 3 333 kg kuiva-ainetta hehtaarilta, edellyttäen, että kasteena tiivistyvä vesi korvaisi maan pinnasta tapahtuvan haihtumisen. Mitä pienempi haihdutuskertoin on, sitä suurempi sato voidaan saada samalla vesimäärällä.

---

[1]) 1 mm sadetta vastaa 10 000 kg vettä hehtaarille, 250 mm siis 2.5 milj. kg.

II. Eri olosuhteiden vaikutus haihdutuskertoimeen.

Koska haihdutuskertoin on kasvien käyttämän vesimäärän ja niiden tuottaman kuiva-ainesadon suhdeluku, on odotettavissa, että ne tekijät, jotka vaikuttavat haihtumisnopeuteen tai sadon suuruuteen, muuttavat myös haihdutuskertointa. Sadon suuruuden määräävät kasvutekijät, joina mainittakoon:

1 Säteilevä energia
2 Lämpötila
3 Hiilihappo, CO_2
4 Vesi
5 Typpi, NO_3', $NH_4^{\cdot}$, (NO_2' ja organiset N-yhdistykset)
6 Kalium, $K^{\cdot}$
7 Fosfori, H_2PO_4', HPO_4'', (PO_4''')
8 Kalsium, $Ca^{\cdot\cdot}$
9 Rikki, SO_4''
10 Magnesium, $Mg^{\cdot\cdot}$
11 Rauta, $Fe^{\cdot\cdot\cdot}$, ($Fe^{\cdot\cdot}$)
12 Muut ionit, $H^{\cdot}$, OH', $Na^{\cdot}$, Cl', $HSiO_3'$, $Al^{\cdot\cdot\cdot}$, $Mn^{\cdot\cdot}$ j. n. e.
13 Liukenevat organiset yhdistykset
14 Kylvösiemenen laatu.

Kasvutekijät 4—13 sisältyvät maanesteeseen. Ne ovat sikäli riippuvaisia toisistaan, että jos vesimäärää lisätään, muuttuu liuoksen konsentratio, ellei myöskin toisia lisätä. Tai, jos tahdotaan muuttaa jonkun kationin konsentratiota, muuttuu myös vähintään yhden anionin konsentratio. Säteilevä energia, lämpötila ja ilman hiilihappo taas kuuluvat niihin tekijöihin, joiden vaikutusta ei tavallisilla astiakokeilla voida erikseen tutkia.

Maanesteen konsentration vaikutusta

haihdutuskertoimeen tutkittaessa on tehtävä ero heikosti adsorboituvien ja voimakkaasti adsorboituvien ionien välillä. Heikosti adsorboituvien ionien konsentratio maanesteessä on riippuvainen niitä muodostavien suolojen määrästä, kun taas adsorptio pienentää voimak-

kaasti adsorboituvien ionien konsentratiota maanesteessä, mutta toiselta puolen myöskin kasvien juuristo pidättää niitä niin voimakkaasti, että jo verraten laimeat liuokset saattavat antaa juurihapsien pinnoille adsorboituneille ioneille korkean konsentration.

Maanviljelystaloudellisella koelaitoksella on adsorptioilmiön selvittämiseksi määrätty, kuinka paljon eri vuosina käytetyt koeastiain täytteet ovat pidättäneet niihin liuoksena lisättäviä ravintoaineita. Taulukossa 1, jossa näiden määräysten tulokset on esitetty, merkitsee:

A 50 g turvepehkua
B 100 » mutaa
C 250 » savimultaa vuoden 1914 astiakokeesta
D 250 » » » 1915 »
E 250 » hiekkaa
F 250 » kvartsitijauhetta
G 25 » turvepehkua + 250 g hiekkaa
H 25 » » + 125 » »
I 250 » kvartsihiekkaa.

Näitä määriä huiskutettiin 4 tuntia litrassa tislattua vettä lannoitelisäyksineen, jonka jälkeen uutteesta määrättiin P_2O_5, K_2O ja CaO. Eri käsittelyinä oli:

1 ilman lannoitusta
2 25 mg K_2O + 25 mg P_2O_5
3 25 » K_2O + 25 » P_2O_5 + 280 mg CaO.

K_2O ja P_2O_5 annettiin liuoksena, joka oli saatu sekoittamalla sopivissa määrin KOH ja H_3PO_4. CaO annettiin saostettuna $CaCO_3$:na. Taulukossa merkitsevät esim. A_1:n kohdalla olevat luvut analysituloksia milligrammoissa litraa kohti uutetta, joka on saatu astiantäytemaasta A käsittelyllä 1.

Yleissilmäys taulukkoon osoittaa, että eri maalajien adsorptiokyky on ollut hyvin erilainen.

Turvepehku (A) on ainoastaan vähässä määrin pidättänyt fosforihappoa, kaliumionin adsorptio on paljon huomattavampi. Kalkkilisäys on vähentänyt fosfateja liuoksessa, kalia se on jonkunverran ajanut liuokseen.

Muta (B) on pidättänyt fosforihapon melkein täydellisesti, kalin adsorptio on vähäisempi kuin turvepehkulla.

Kalkkilisäyksellä on uutteen kalipitoisuus vähentynyt.

Kokeessa käytetyt savimultamaat (C ja D) eroavat toisistaan huomattavasti niistä uutteeseen menneitten kali- ja kalkkimäärien suhteen. Kali- ja fosfatilisäyksellä ovat kumpikin kuitenkin anta-

neet aivan samansuuntaisen tuloksen: fosfatin adsorptio on sangen voimakas, kalin adsorptio hyvin vähäinen. Kalkkilisäys on vuoden 1915 savimultamaalla (D) vaikuttanut voimakkaammin kali- ja fosfatikonsentratiota alentavasti kuin edellisen vuoden savimultamaalla (C).

Taulukko 1.

	P_2O_5 mg/l	K_2O mg/l	CaO mg/l
A_1	6.5	7.5	9.7
A_2	27.7	13.0	8.5
A_3	22.2	15.3	12.0
B_1	0.4	7.5	29.3
B_2	1.7	19.2	29.7
B_3	1.6	13.7	40.6
C_1	1.4	13.7	32.3
C_2	5.9	33.8	37.8
C_3	3.2	33.0	77.1
D_1	2.0	61.6	69.9
D_2	5.6	90.7	81.2
D_3	1.5	72.4	92.4
E_1	1.1	3.9	17.9
E_2	3.5	20.4	18.2
E_3	3.2	16.9	36.4
F_1	3.5	7.5	13.3
F_2	25.0	23.6	14.0
F_3	24.0	25.9	19.7
G_1	5.2	8.6	16.8
G_2	14.1	16.4	16.8
H_1	8.2	7.9	14.1
H_2	21.4	14.5	11.2
I_1	8.6	8.2	6.3
I_2	20.9	14.5	4.2

Hiekkamaa (E) on voimakkaasti adsorboinut fosfati-ionin, kalia se on pidättänyt vähemmän. Kalkkilisäys on jonkunverran alentanut kalikonsentratiota.

Kvartsitijauheella (F) on, kuten oli odotettavissakin, sekä fosfatin että kalin adsorptio ollut vähäinen. Kalkin vaikutus adsorptioon on ollut vähäinen.

Turvepehku on hiekkaan lisättynä (G ja H) saattanut tästä fosfateja ja kalia liuokseen (vrt. A ja E).

Adsorption suhteen on seos turvepehkun ja hiekan välillä. Kvartsihiekka (I) on adsorboinut fosfatia vähemmän, mutta kalia enemmän kuin tavallinen hiekka.

Fosfatin adsorptio on siis ollut sangen suuri muta-, hiekka- ja savimultamaalla ja huomattava myöskin kvartsihiekassa sekä hiekan ja turvepehkun seoksessa. Ainoastaan kvartsitijauhetta ja turvepehkua käytettäessä on fosfatin adsorptio ollut hyvin vähäinen. Kalin adsorptio on huomattava muualla, paitsi savimullassa, hiekassa ja kvartsitijauheessa, joissa se on vähäinen. Kalsiumkarbonatia lisäämällä on kaikkialla saatu kalsiumionikonsentratio kasvamaan. Fosfatikonsentratiota on kalkkilisäys aina pienentänyt. Vaikutus kalikonsentratioon on ollut vähäisempi.

Maanesteen konsentration vaikutusta haihdutuskertoimeen on tutkittu antamalla joitakin tai kaikkia ravintoaineita enenevissä määrissä ja myös tavallisilla lannoituskokeilla.

Hellriegel (1883, p. 631) järjesti v. 1868 ohra koekasvina kokeen, jonka tarkoituksena oli selvittää enenevien kalimäärien vaikutusta silloin, kun muita ravintoaineita on runsaasti. Kaikki astiat saivat 4 kg puhdistettua kvartsihiekkaa ja siihen

	mg-ekv.
$Ca^{\cdot\cdot}$	16
$Mg^{\cdot\cdot}$	1.6
$K^{\cdot} + Na^{\cdot}$	3
NO_3'	16
SO_4''	1.6
HPO_4''	2
Cl'	1

Maan kosteus sai vaihdella 80—40 prosenttiin vesikapasitetista, joka vastasi 800—400 cm^3 vettä. Jättämällä huomioon ottamatta maan adsorptio saadaan eri ionien konsentratioksi:

	mg-ekv. litrassa
$Ca^{\cdot\cdot}$	20—40
$Mg^{\cdot\cdot}$	2—4
$K^{\cdot} + Na^{\cdot}$	3.8—7.5
NO_3'	20—40
SO_4''	2—4
Cl'	1.9—3.8

Kalikonsentratiot, tuotetut sadot ja haihdutuskertoimet näkyvät seuraavasta yhdistelmästä.

K· mg-ekv.	K· mg-ekv. litrassa	Kuiva-ainesato	Haihdutuskertoin
0.0	0.0	6.39	615
0.4	0.5—1.0	10.77	525
0.8	1.0—2.0	15.41	422
1.2	1.5—3.0	15.74	453
1.6	2.0—4.0	17.35	390
2.2	2.8—5.5	18.43	362
3.0	3.8—7.5	20.75	330

Koesarja osoittaa kuiva-ainesadon ja haihdutuskertoimen selvää riippuvaisuutta kalikonsentratiosta, ja siten, että kuiva-ainesadon kasvaessa suurempien kalimäärien vaikutuksesta pienenee haihdutuskertoin.

Hellriegel (1883, p. 628—630) tutki myöskin typpimäärien vaikutusta ohran haihdutuskertoimeen vv. 1868 ja 1869. Koeastiat täytettiin 4 000 g:lla puhdistettua kvartsihiekkaa ja saivat peruslannoitukseksi 2 mg-ekv. KH_2PO_4, 1 mg-ekv. KCl ja 1.6 mg-ekv. $MgSO_4$ sekä lisäksi v. 1868 0:sta 12:een ja 1869 0:sta 20:een mg-ekv:iin vaihtelevat määrät $Ca(NO_3)_2$. V. 1868 annettiin sitäpaitsi niille astioille, jotka eivät saaneet täyttä määrää $Ca(NO_3)_2$, ekvivalenttimäärät $CaCl_2$, v. 1869 ei kalsiumia annettu muussa muodossa kuin kalsiumnitratina. Maan kosteus vaihteli v. 1868 80:stä 40:een ja v. 1869 60:stä 20:een prosenttiin vesikapasitetista. Kun 10 prosenttia vesikapasitetista vastasi 100 cm^3 vettä, antaisi peruslannoitus v. 1868 maanesteen eri ionien konsentratioille seuraavat arvot, ellei maan adsorptio näitä muuttaisi:

	mg-ekv.
$K^{\cdot}$	3.8—7.5
$Ca^{\cdot\cdot}$	20 —40
$Mg^{\cdot\cdot}$	2 —4
H_2PO_4'	2.5—5.0
SO_4''	2 —4

Cl' ja NO_3' määrät yhteensä olivat 20—40 mg-ekv. litrassa ja v. 1869:

	mg-ekv.
$K^{\cdot}$	5 —15
$Mg^{\cdot\cdot}$	2.7— 8.0
H_2PO_4'	3.3—10.0
SO_4''	2.7— 8.0
Cl'	1.7— 5.0

$Ca^{\cdot\cdot}$-konsentratio oli ekvivalenttinen NO_3'-konsentration kanssa.

Eri typpimäärät astioita kohti, nitratikonsentratio, ohran kuiva-ainesato ja haihdutuskertoin olivat seuraavat·

Taulukko 2.

v. 1868.

N mg-ekv. astiata kohden	NO_3' mg-ionia 1 litrassa nestettä	Kuiva-ainesato	Haihdutuskertoin
0	0	0.73 g	982
4	5 —10	6.61 »	481
6	7.5—15	9.69 »	425
8	10 —20	12.16 »	352
10	12.5—25	13.46 »	349
12	15 —30	16.54 »	338

v. 1869.

N mg-ekv. astiata kohden	NO_3' mg-ekv. 1 litrassa nestettä	Kuiva-ainesato	Haihdutuskertoin
0	0	1.11 g	724
0	0	1.10 »	867
4	6.7—20	8.48 »	399
8	13.3—40	13.94 »	347
12	20 —60	18.29 »	345
16	26.7—80	23.03 »	302
20	33.3—100	25.50 »	292

Näissäkin kokeissa on typpimäärien lisäämisestä ollut seurauksena jatkuva sadon suureneminen. Haihdutuskertoimen kulku on päinvastainen.

Kalikokeessa antoi se määrä kalia, joka kvartsihiekasta oli liuennut, 6.39 g:n sadon ja 615:n suuruisen haihdutuskertoimen. Sensijaan on typpisarjan nolla-astian sato samana vuonna 0.73 g ja haihdutuskertoin 982.

Liebscher (1895, p. 210—214) tutki v. 1894 kali-, typpi- ja fosfatilannoituksen vaikutusta vedenkulutukseen savi- ja hiekkamaalla. Kokeeseen kuului 48 astiaa, joista puolet täytettiin Deppoldhausenin savella ja toiset Wonsowon hiekalla. Jos merkitään: 4 g K_2CO_3 = K, 2.4 g $Ca(H_2PO_4)_2$ = P ja 8.6 g $NaNO_3$ = N, oli kummallakin maanlaadulla aina kolmen kertausastian lannoitus: KPN, KP, KN, PN, K, P, N ja 0.

Kokeen tulos oli seuraava:

Taulukko 3.

	Savi		Hiekka	
	Ilmakuiva sato	Vedenkulutus 1 g kohti	Ilmakuiva sato	Vedenkulutus 1 g kohti
0	32.7 g	340	34.0 g	332
N	45.6 »	311	129.7 »	194
P	43.2 »	269	35.7 »	306
K	32.1 »	344	35.2 »	312
PN	122.8 »	176	139.7 »	192
KN	42.2 »	319	133.3 »	192
KP	42.6 »	265	36.0 »	299
KPN	123.2 »	173	149.3 »	178

Taulukko 4 esittää kuinka paljon ilmakuiva sato ja 1 grammaa ilmakuivaa satoa kohti laskettu vedenkulutus on lannoituksen vaikutuksesta kohonnut (+) tahi laskenut (—).

Taulukko 4.

	Savi		Hiekka	
Lannoitus	Sato	Vedenkulutus	Sato	Vedenkulutus
K	— 0.6	+ 4	+ 2.4	— 11
P ilman N	+ 10.5	— 71	+ 1.7	— 26
P N:n ohella ..	+ 77.2	— 135	+ 10.0	— 2
N ilman P	+ 11.5	— 27	+ 96.9	— 129
N P:n ohella ..	+ 79.6	— 93	+ 104.0	— 114

Kokeeseen käytetty savimaa osoittaa selvää typen ja fosfatin puutetta, kalia sensijaan näyttää savimaassa olleen tarpeeksi. Typpi- ja fosfatilannoituksen vaikutus näkyy sekä yksinään että muiden kanssa kuiva-ainesadon kasvamisena ja vedenkulutuksen pienenemisenä. Kalilannoitus ei ole vaikuttanut, osaksi ehkä sentähden, että emäksinen K_2CO_3 vaikeuttaa fosfatin liukenemista. Hiekkamaalla on typellä ollut hyvin huomattava vaikutus. Myöskin fosfati- ja kalilannoitus ovat vaikuttaneet kauttaaltaan positivisesti. Vedenkulutuksen pieneneminen on kaikkialla seurannut kuiva-ainesadon suurenemista.

Seelhorst (1899, p. 369—378) järjesti v. 1898 kokeita saman suunnitelman mukaan kuin Liebscher. Koekasvina oli kaura. Kocastiat oli jaettu kolmeen sarjaan maan kosteuden mukaan. 1 sarjan astioitten kosteus vaihteli 45—55 prosenttiin vesikapasitetista, toisen sarjan 59—64 ja kolmannen 64—74. Astiain täytteenä oli n. 20 kg jäykkää savea. Lannoituksessa, jonka aina kaksi

kertausastiaa sai, merkitsee K 1 g K_2O K_2CO_3:na, P 1 g P_2O_5 $Ca(H_2PO_4)_2$:na ja N 0.5 g N·$NaNO_3$:na astiaa kohti. Kokeen tulos näkyy seuraavasta yhdistelmästä.

Taulukko 5.

	Kosteus 45—55 %		Kosteus 59—64 %		Kosteus 64—74 %	
	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
0	39.6	260	48.8	313	52.6	307
N	55.2	230	67.5	243	75.5	231
P	38.5	268	49.9	290	54.4	283
K	40.2	290	51.2	291	47.9	302
PN	46.8	236	84.0	220	108.3	216
KN	41.3	227	65.9	225	92.9	222
KP	41.3	247	52.9	290	51.5	306
KPN ...	49.9	225	86.7	237	95.1	232

Lannoittamattomien astioiden satotuloksista näkyy, että koemaa on ollut hyvässä kasvukunnossa. Lannoitemäärät, eritoten typpi, ovat olleet kovin alhaisia. Tämän takia on lannoituksen vaikutuskin jäänyt vähäiseksi. Typpi on kuitenkin tällöinkin selvästi kohottanut satoa ja alentanut haihdutuskertointa. Fosfatilannoituksen satoa kohottava ja haihdutuskertointa alentava vaikutus on tullut näkyviin vasta korkeammilla kosteusasteilla.

Astiakokeissa jää kalilannoituksen vaikutus yleensäkin verraten vähäiseksi. Tässä tapauksessa on vielä huomattava, että kali annettiin karbonatina, jonka täytyi vaikeuttaa kasvillisuuden fosfatin saantia ja siten välillisesti vaikuttaa haitallisesti. Vähäinen typpimäärä on myöskin osaltaan voinut olla syynä siihen, ettei kalin vaikutus senkään yhteydessä ole ollut mainittava.

Vuosina 1905 ja 1906 suoritti Ohlmer (1908, p. 153—158) Seelhorstin johdolla astiakokeita syysvehnällä. Koemaana oli savi, jota meni 17.23 kg kuiva-ainetta sisältävä määrä astiata kohti. Sen vesikapasiteti oli 28 %. Koe järjestettiin käyttämällä kahta kosteusmäärää, 45 ja 70 prosenttia vesikapasitetista.

Kun merkitään N = 1.0 g typpeä $NaNO_3$:na, P = 1.0 g P_2O_5 $Ca(H_2PO_4)_2$:na, K = 1.0 g kalia K_2CO_3:na, oli neljän kertausastian lannoitus kummassakin sarjassa KPN, KP, KN, PN, K, P, N, 0. Eri lannoituksilla saadut sadot ja haihdutuskertoimet olivat seuraavat:

Taulukko 6.

	45 %		70 %	
	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
0	19.4	274	22.8	281
N	57.5	219	105.2	248
P	19.2	282	23.1	294
K	18.8	277	22.2	304
PN	64.8	216	111.3	265
KN	72.2	204	120.0	246
KP	20.5	248	21.7	328
KPN	69.5	209	130.8	242

Ainoastaan typpilannoitus on näissä kokeissa vaikuttanut edullisesti. Sadon kohoamista seuraa kaikkialla haihdutuskertoimen pieneneminen. Fosfatilannoitus on ollut tehoton, ja kalilannoituksenkin vaikutus tulee huomattavaksi vasta typpilannoituksen yhteydessä.

Lannoituksen vaikutusta haihdutuskertoimeen erilaisessa kasvukunnossa oleville maille selvittää MONTGOMERYN ja KIESSELBACHIN (1912) v. 1911 maissilla suorittama koe. Tulokset näkyvät seuraavasta:

	Lannoittamatta		Lannoituksella	
	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
Laiha maa	113	550	376	350
Keskinkert. maa	184	479	414	341
Viljava maa	270	392	473	347

Laihalla maalla on lannoituksen vaikutus selvin ja vähenee vaikutus viljavuuden kasvaessa siten, että lannoittamalla on kaikilla mailla saatu likipitäen yhtä suuri haihdutuskertoin. Sensijaan seuraa lannoittamattomissa astioissa maan viljavuuden lisääntymistä haihdutuskertoimen pieneneminen.

DEHÉRAIN (1892, p. 465—486) tutki rairuohon haihdutuskertoimen kulkua uuvutetulla maalla ilman lannoitusta sekä väkilannoitteilla lannoitettuna. Eri käsittelyillä saadut haihdutuskertoimet olivat seuraavat:

Ilman lannoitusta	630
Väkilannoitteilla lannoitettuna	233

Koska maan muokkauksen tärkein vaikutus on typen mobilisation vilkastuttaminen, on muokkauksen vaikutustakin tarkastettava lannoitusvaikutuksena.

Widtsoe (1909) kokeili maissilla kasvattaen sitä haratulla ja haraamattomalla maalla. Hietasavi- ja savimaalla saadut haihdutuskertoimet näkyvät seuraavasta:

	Haraamaton	Harattu
Hietasavi	603	252
Savi	753	582

Tulos on aivan samansuuntainen kuin typpilannoitusta käytettäessä. Haraus on lisäämällä kasvien käytettävissä olevia typpiyhdistyksiä maassa alentanut haihdutuskertointa.

Maan vesipitoisuuden vaikutus.

Maan vesipitoisuus ilmoitetaan yleensä, kun on kysymys vedestä kasvutekijänä, prosenteissa n. s. täydestä vesikapasitetista, koska täten saadut luvut parhaiten vastaavat kasvien käytettävissä olevia vesimääriä.

Niissä lukuisissa tutkimuksissa, joilla on tahdottu selvittää maan vesipitoisuuden vaikutusta haihdutuskertoimeen, ei ole otettu huomioon sitä, että maan kosteuden lisääntyessä maanesteen konsentratio pienenee. Näiden kokeiden antamista tuloksista ei sen vuoksi voida laskea pelkän veden vaikutusta, kun kosteusmäärän mukana kaikkien liuoksessa olevien kasvutekijäin konsentratiot ovat vaihdelleet.

Hellriegel (1883, p. 635—640) on suorittanut arvokkaita kokeita myöskin maan vesipitoisuuden vaikutuksen tutkimiseksi. V. 1869 järjestettyyn koesarjaan kuului 12 astiaa, kolmin kertausastioin ja neljä eri vesipitoisuutta: 20, 40, 60 ja 80 prosenttia vesikapasitetista. Koemaana oli puhdistettua kvartsihiekkaa, jonka vesikapasiteti oli 25 %. Sitä käytettiin 4 kg astiaa kohti. Koeastiat tulivat siten sisältämään 200, 400, 600 ja 800 g vettä. Koekasvina oli ohra. Lannoitus oli 0.091 g KH_2PO_4, 0.075 g KCl, 1.313 g $Ca(NO_3)_2$ ja 0.088 g $MgSO_4$. Kalium- ja nitrati-ionien konsentratio eri kosteusasteilla tuli siten olemaan seuraava:

	20 %	40 %	60 %	80 %
K'	0.0083-n.	0.0042-n.	0.0028-n.	0.0021-n.
NO_3' ..	0.080 »	0.040 »	0.027 »	0.020 »

Kuiva-ainesadoiksi ja haihdutuskertoimiksi saatiin tällöin:

	20 %	40 %	60 %	80 %
Kuiva-ainesato g	17.92	23.94	25.36	24.46
Haihdutuskertoin	254	258	281	298

Kuiva-ainesato on tässä ensikädessä riippuvainen kosteudesta. Optimi näyttää olevan 60 % lähimailla, sen kummallakin puolen vähenee kuiva-ainesato. Haihdutuskertoin taas seuraa maanesteen konsentration muutoksia.

Seuraavan vuoden kokeessa oli 7 koeastiaa, kukin eri kosteusasteella, nim. 5, 10, 20, 30, 40, 60 ja 80 prosenttia vesikapasiteetista. Kockasvi, koemaa ja lannoitus olivat samat kuin edellisenä vuonna. Kalium- ja nitrati-ionien konsentratioiksi, kuiva-ainesadoiksi ja haihdutuskertoimiksi saatiin tällöin:

	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	60 %	80 %
$K^{\cdot}$	0.0333-n.	0.0167-n.	0.0083-n.	0.0056-n.	0.0042-n.	0.0028-n.	0.0021-n.
NO_3'	0.320 »	0.160 »	0.080 »	0.053 »	0.040 »	0.027 »	0.020 »
Kuiva-ainesato g	0.123	3.009	14.620	19.765	21.760	22.763	19.693
Haihdutuskertoin	935	180	168	223	216	240	277

Kokeen tulos on aivan samansuuntainen kuin edellisenkin. 20 %:n kosteusasteella on haihdutuskertoin saanut alimman arvon. Silloinkin jo veden puute on alentanut satotulosta.

Eräs SEELHORSTin järjestämistä koesarjoista tuli selostetuksi jo kasvinravintoainciden vaikutuksen yhteydessä (kts. siv. 16). Siinä käytettiin kolmea kosteusastetta, nim. 45—55 %, 59—64 % ja 64—74 % vesikapasitetista. Tulokset esitettiin taulukossa 5.

Kuten lannoitusten vaikutusta tarkasteltaessa jo huomautettiin, oli maa niin hyvässä kasvukunnossa, että ainoastaan typpilannoituksella oli selvä vaikutus, silläkin tavallista heikompi. Senvuoksi onkin tässä kosteuden vaikutusta helpompi seurata. Jos lasketaan kuiva-ainesatojen ja haihdutuskertointen keskiarvot kullekin kosteusasteelle, saadaan:

Kosteusaste	45—55 %	59—64 %	64—74 %
Kuiva-ainesato g	44.1	63.4	72.3
Haihdutuskertoin	248	264	262

Kuiva-ainesato on kosteusasteen mukaan säännöllisesti kasvanut. Haihdutuskertoimen vaihtelut ovat olleet verraten vähäiset, kun satojen kohotessa yleensä haihdutuskertoin pienenee, mutta toisaalta taas maanesteen laimentuminen on tässä vaikuttanut vastakkaiseen suuntaan.

Sääsuhteiden vaikutus haihdutuskertoimeen.

Auringon säteily, ilman lämpötila ja kyllästysvajaus ovat tekijöitä, joiden vaikutus on vaikeimmin määrättävissä. Koska toiselta puolen nämä tekijät suuresti vaihtelevat vuodesta vuoteen, olisi

niiden vaikutus tunnettava, jotta voitaisiin eri vuosien tuloksia toisiinsa verrata. Kun ilman lämpötila on riippuvainen säteilymääristä ja kyllästysvajaus taas lämpötilasta ja kosteuspitoisuudesta, on näiden kulku samansuuntainen, joka seikka vaikeuttaa kunkin tekijän tutkimista erikseen. Kuitenkin riippuu ilman lämpötila ja sen mukana kosteus myöskin tuulen suunnasta ja nopeudesta, jonka tähden ei yhden tekijän havainnoiminen ole riittävä selvittämään näiden yhteistä vaikutusta.

Jo Hellriegel (1883, p. 670—671) kiinnitti huomion ilman suhteelliseen kosteuteen ja lämpötilaan astiakokeitaan järjestäessään. Vuosien 1868, 1869 ja 1870 kokeissa havainnoitiin lämpötila ja kosteus kolmasti päivässä (7a, 2p ja 9i). Eri kasvukausien keskilämpötila ja suhteellinen kosteus keskimäärin sekä ohralle saadut haihdutuskertoimet olivat seuraavat:

Vuosi	Keskilämpötila C°	Suhteellinen kosteus	Haihdutuskertoin
1868	18.59	65.7 %	366
1869	15.49	71.0 »	305
1870	16.02	72.1 »	263

Kuivana ja lämpimänä vuonna 1868 saatu haihdutuskertoin on korkea verrattuna kylmien ja kosteiden vuosien 1869 ja 1870 haihdutuskertoimiin. Sensijaan antaa vertailu näiden kahden vuoden välillä aivan odottamattoman tuloksen. Temperaturi ja suhteellinen kosteus poikkeavat vain vähän toisistaan, mutta vuosi 1869 antoi 305 suuruisen haihdutuskertoimen ja vuosi 1870 vain 263. Hellriegel arvelee tämän ainakin osaksi johtuvan siitä, että vaikka lämpötilan ja suhteellisen kosteuden keskiarvot eri vuosina ovatkin lähes samat, on niiden kulku kasvukautena ollut erilainen ja vaikuttanut huomattavasti haihdutuskertoimeen.

Pääasiassa lämpötilan vaihteluiden vaikutuksen tutkimista tarkoitti myös vv. 1872—73 suoritettu apilakoe (Hellriegel 1883, p. 633—634), jossa sato vuoden aikana korjattiin 4 kertaa. Sarjaan kuului 8 astiaa, joiden kaikkien läpimitta oli 14 cm, mutta korkeus vaihteli siten, että se aina kahdella kertausastialla oli I 15 $^1/_2$ cm, II 34 cm, III 65 cm ja IV 96 cm. Astioiden täytteenä oli peltomaata, jonka vesikapasiteti oli 42 %. Sitä tuli eri astioihin kuiva-aineeksi laskettuna I 3 005 g, II 6 010 g, III 12 020 g ja IV 18 030 g. Kosteus sai vaihdella 60:stä 30:een % vesikapasitetista. Kasvujaksoja, kuiva-ainesatoja ja haihdutuskertoimia sekä lisäkasvua päivässä esittää seuraava taulukko.

Taulukko 7.

Astian syvyys cm	25/4—16/7			17/7—13/9			14/9—7/1			8/1—4/6		
	Sadon lisäys keskim. päiv.	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Sadon lisäys keskim. päiv.	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Sadon lisäys keskim. päiv.	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Sadon lisäys keskim. päiv.	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
15.5	0.167	13.9	336	0.180	10.6	553	0.007	0.85	1 616	0.151	22.4	380
34	0.243	20.2	375	0.292	17.2	697	0.026	3.0	913	0.407	60.3	283
65	0.307	25.5	355	0.398	23.5	492	0.066	7.6	550	0.710	105.0	270
96	0.308	25.6	384	0.420	24.8	684	0.135	15.7	633	1.099	162.6	253
Keskim.	0.256	21.3	362	0.318	19.0	606	0.058	6.8	928	0.592	87.6	299

Keväällä, jolloin lämpötila on alhainen, on haihdutuskertoin pieni huolimatta ilman kuivuudesta ja säteilyenergian runsaudesta. Tällöin on päivittäinen lisäkasvu suurin, joten kasvit siis ovat käyttäneet suhteellisesti suuremman osan energiasta yhteyttämiseen kuin muina aikoina. Keskikesällä on säteilevän energian määrä samaa suuruusluokkaa kuin keväällä, samoin ilman kosteus. Sensijaan on lämpötila tällöin korkeampi, josta seurauksena on haihdutuskertoimen suureneminen. Syksyllä säteilevä energia on minimissä, jonka vuoksi päivittäinen lisäkasvukin jää varsin vähäiseksi. Senjohdosta on ilman suuresta kosteudesta ja suhteellisen alhaisesta lämpötilasta huolimatta haihdutuskertoin silloin suurin.

Haihdutuskertoimen riippuvaisuutta säteilevän energian määrästä tutki Hellriegel (1883, p. 632—633) varjostamalla kasveja katkaistun kartion muotoisilla varjostimilla, joita asetettiin päällekkäin niin, että valoa pääsi ainoastaan ylhäällä olevasta aukosta. Varjostimia oli kolmea suuruutta. Varjostinten aukkojen pinta-alat olivat 2, 1 ja $^1/_2$ kertaa astian suuaukon pinta-ala. 1 astia jätettiin varjostamatta. Koekasveina olivat ohra ja herne. Ohraa oli kylvetty kahden kokoisiin astioihin, joista isompiin mahtui n. 13, pienempiin n. 6 kg puutarhamaata. Eri olosuhteissa saadut sadot ja haihdutuskertoimet olivat:

Taulukko 8.

	Täysi valo		Suur. valoaukot		Keskink. valoaukot		Pien. valoaukot	
	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
Ohra, isot astiat ..	57.29	360	15.32	498	10.79	510	7.73	609
» pienet » ...	27.98	338	12.22	468	11.80	528	6.51	542
Herne, pienet astiat	38.36	343	37.09	364	—	—	11.35	624

Varjostaminen on supistanut yhteyttämistä ja haihdutuskertoin on kasvanut.

Seelhorst ja Bünger (1907, p. 233—245) määräsivät kauran haihdutuskertoimen kasvukauden eri jaksoina samalla ottaen huomioon päivänpaistetuntien ja lämpötilan vaihtelut eri aikoina. Kokeeseen kuului 57 astiaa, jotka täytettiin 12 kg:lla multaa. 29 sai 0.5 g typpeä chilensalpietarina, 28 sai 1.5 g typpeä. Sadot korjattiin 7:nä eri aikana ja laskettiin eri jaksoina muodostunut kuiva-aine vähentämällä kulloinkin korjatusta sadosta edellisen korjuun sato. Samalla tavalla laskettiin vedenkulutus eri jaksoina. Allaolevassa taulukossa on ilmoitettu kuiva-ainesadon lisäys laskettuna kasvujaksoa ja päivää kohti, haihdutuskertoin, lämpötilojen ja päivänpaistetuntien päivittäiset keskiarvot sekä kertausastioiden lukumäärä.

Taulukko 9.

Aika	Kasvukauden pituus vrk.	Keski-lämpöt.	Päivänpaistetuntien lukumäärä	Lannoitus 0.5 g N Sadonlisäys				Lannoitus 1.5 g N Sadonlisäys			
				Kertausastioita	Haihdutuskerroin	Kasvukautena g	Päivässä g	Kertausastioita	Haihdutuskerroin	Kasvukautena g	Päivässä g
$^{1}/_{5}$—$^{24}/_{5}$	23	15.58	5.75	6	424	6.37	0.277	6	296	8.42	0.366
$^{24}/_{5}$—$^{30}/_{5}$	6	14.77	2.75	5	316	4.07	0.678	5	276	6.12	1.020
$^{30}/_{5}$—$^{6}/_{6}$	7	10.47	2.83	4	156	5.25	0.750	4	194	8.60	1.229
$^{6}/_{6}$—$^{11}/_{6}$	5	12.97	4.08	4	149	5.10	1.020	3	202	9.24	1.848
$^{11}/_{6}$—$^{18}/_{6}$	7	14.84	4.58	4	171	8.33	1.190	3	205	10.99	1.713
$^{18}/_{6}$—$^{27}/_{6}$	9	18.14	5.08	3	237	8.21	0.912	4	203	17.24	1.916
$^{27}/_{6}$—$^{31}/_{7}$	34	16.84	5.67	3	649	4.54	0.134	3	320	24.15	0.710

Sitä mukaa kuin päivittäinen lisäkasvu suurenee, pienenee haihdutuskertoin. Lämpötilan ja päivänpaistetuntien luvun korkeus kasvukauden alussa ja lopussa jyrkentää vielä haihdutuskertoimen nousua kumpaankin päähän päin. Heikommin lannoitetulla maalla on lisäkasvu suurin $^{11}/_{6}$—$^{18}/_{6}$, haihdutuskertoin nousee täällä kuitenkin korkeamman lämpötilan ja runsaamman auringonpaisteen johdosta suuremmaksi kuin aikana $^{6}/_{6}$—$^{11}/_{6}$. Lannoittamattomalla maalla kohottaa päivänpaistetuntien luvun lisääntyminen haihdutuskertointa paljon voimakkaammin kuin lannoitetulla, johtuen ilmeisesti siitä, että lannoitetut kasvit voivat käyttää suuremman osan energiaa yhteyttämiseen.

V. 1913 järjestivät Briggs ja Shantz (1917) lämpötilan vaikutuksen tutkimiseksi kokeen kahdessa eri lämpöisessä kasvihuoneessa. Ilman kosteus ja muut tekijät pidettiin kummassakin kasvihuoneessa samanlaisina. »Kylmässä» kasvihuoneessa oli lämpötila 10—13° C, »lämpimässä» 27° C. Haihdutuskertoimet olivat:

	Kylmä huone	Lämmin huone
Vehnä (Kubanka)	385	826
Ohra (Hannchen)	298	758
Kevätruis	423	875
Kaura	403	760
Sinimailanen	429	906

Numerot puhuvat selvää kieltä. Epäilemättä ei tämä ole yksinomaan lämpötilan välitöntä vaikutusta, vaan on lämpötilan kohotessa myös kyllästysvajaus kasvanut.

Tulaikovin (1915, 1922) esittämät eri vuosina ja eri osissa Venäjää suoritetut tutkimukset osoittavat haihdutuskertoimen selvää riippuvaisuutta s ä ä s u h t e i s t a. Vuosina 1911—17 olivat vehnän, ohran, kauran ja maissin haihdutuskertoimet Besenchukissa seuraavat:

	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1911—1917
Vehnä	576	476	316	397	302	314	464	407
Ohra	618	449	280	413	288	292	337	382
Kaura	655	549	347	370	293	309	478	431
Maissi	437	—	146	195	160	144	350	240

Vuodet 1911 ja 1917 olivat kuivimmat, vuodet 1913 ja 1915 kosteimmat.

V. 1917 saatiin eri osissa Venäjää seuraavat haihdutuskertoimet:

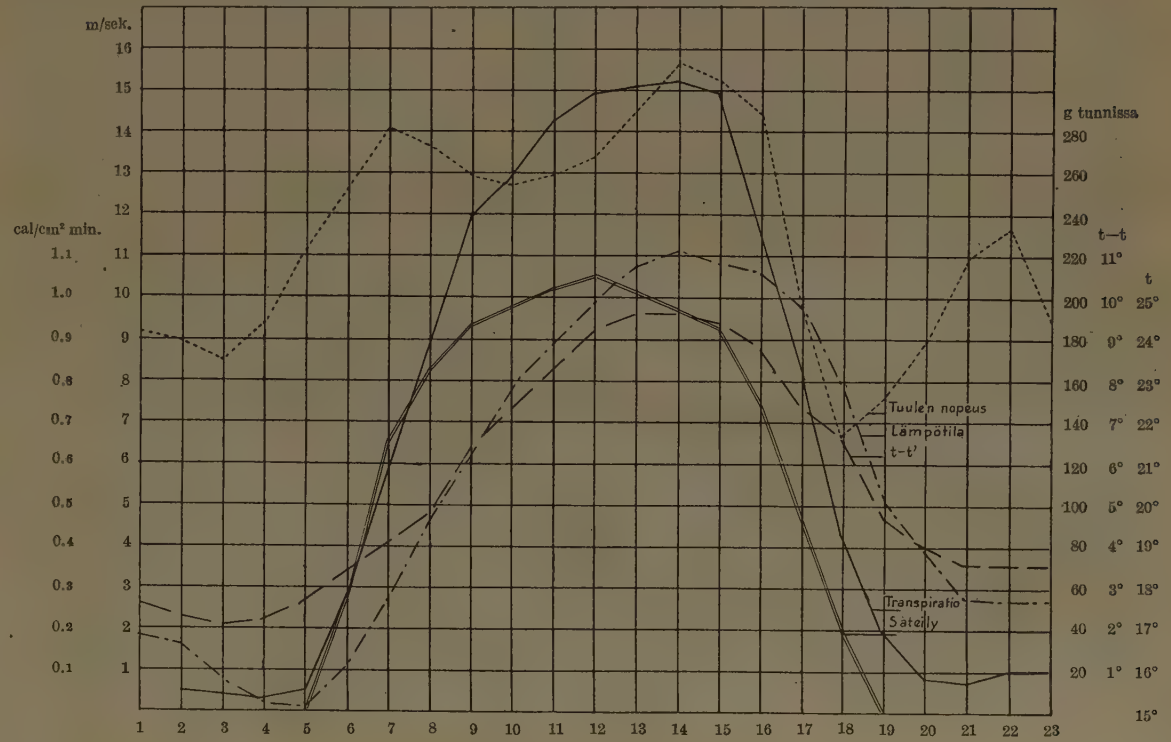
	Kostychev	Besenchuk	Saratov	Sumy	Leningrad
Vehnä	469	464	349	346	237
Ohra	523	478	414	391	292
Kaura	508	337	374	—	302

I l m a n k o s t e u s lisääntyy Kostychevista, Leningradiin siirryttäessä. Yksin ilman kosteuden muutosten tilille ei tätä haihdutuskertointen suurta vaihtelua kuitenkaan voida panna, sillä samalla kuin kosteus vähenee, kasvaa säteilymäärä ja ilman lämpötila kasvukautena.

Briggs ja Shantz (1916, p. 592—597) ovat tutkineet e r i s ä ä t e k i j ö i d e n vaikutusta kasvien haihdutusnopeuteen. Kauralle saatuja tuloksia esittää taulu I. Käyrät esittävät säätekijäin ja haihdutusnopeuden vuorokautista kulkua kahdeksan kirkkaan päivän keskiarvona. Säteilyintensiteti on ilmaistu grammakalorioissa cm^2:lle minuutissa, lämpötila C-asteissa, t—t′ on kuivan ja kostean lämpömittarin lämpötilaero. Transpiratio on laskettu grammoissa tuntia kohti. Kaikki käyrät ovat samansuuntaisia, joskin lämpötila- ja t—t′-käyrän

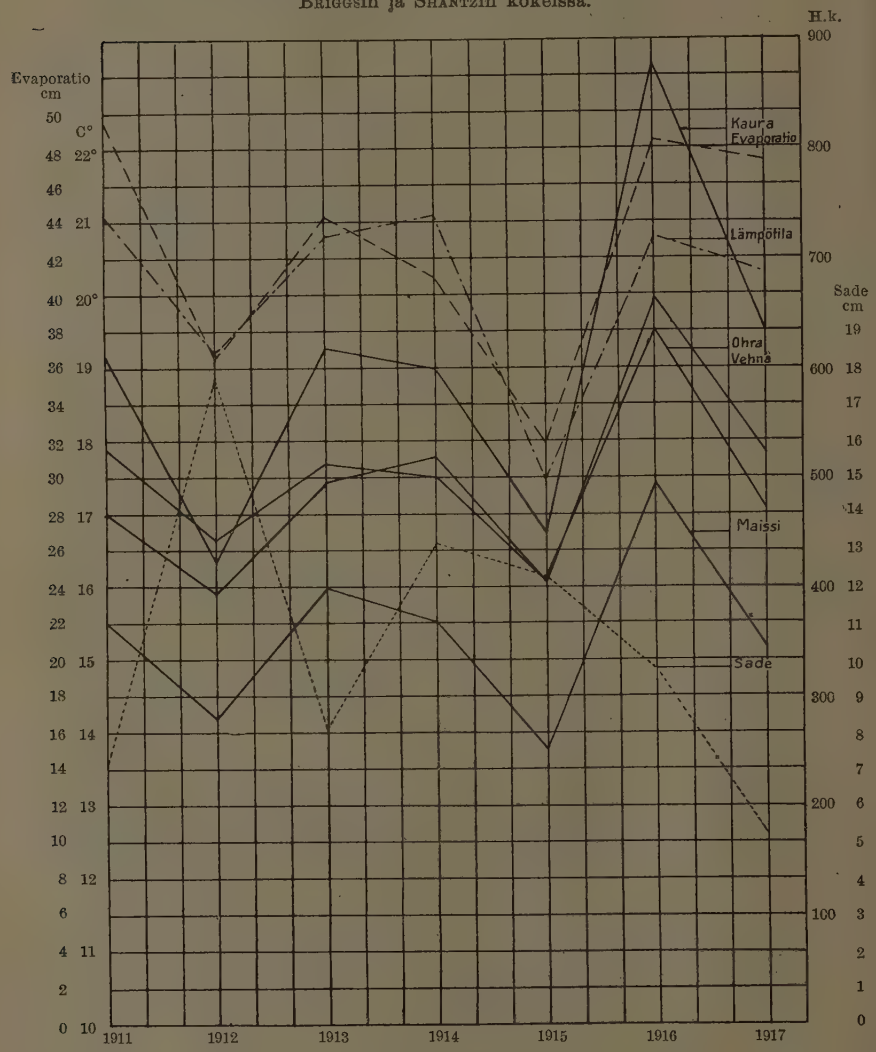
TAULU I.

Haihdutusnopeuden, säteilyn, lämpötilan, kuivan ja kostean lämpömittarin lämpötilaeron ja tuulen nopeuden vuorokautinen kulku Briggsin ja Shantzin mukaan.



TAULU II.

Kauran, ohran, kevätvehnän ja maissin haihdutuskertoimet sekä keskilämpötila, sademäärä ja evaporatio eri vuosina Briggsin ja Shantzin kokeissa.



maksimi on n. 2 tuntia myöhemmin kuin säteilyenergian maksimi. Haihdutusnopeutta esittävästä käyrästä nähdään, että haihdutusnopeus on pääasiassa riippuvainen säteilyenergiasta, koska haihtuminen yöllä on melkein olematon. Briggs ja Shantz (1916, p. 207) ovat myös laskeneet korrelatiokertoimet transpiration riippuvaisuudelle säätekijöistä. Vv. 1914 ja 1915 olivat keskimääräiset korrelatiokertoimet:

	v. 1914		v. 1915	
Transpiratio — säteilyenergia r = ..	+ 0.50	± 0.01	+ 0.59	± 0.02
» — lämpötila	+ 0.64	± 0.01	+ 0.59	± 0.01
» — t—t'	+ 0.79	± 0.01	+ 0.69	± 0.01
» — evaporatio (mat. ast.)	+ 0.72	± 0.01	+ 0.75	± 0.01
» — » (syv. ast.)..	+ 0.63	± 0.01	+ 0.51	± 0.02
» — tuulen nopeus	+ 0.26	± 0.02	+ 0.14	± 0.02

Briggsin ja Shantzin Akronissa suorittamia tutkimuksia on siellä jatkettu niin, että sieltä Shantz ja Piemeisel (1927, p. 1144, 1152—1153) ovat voineet julkaista 7-vuotisia koesarjoja eri kasvilajeilla. Taulussa II on esitetty kauran (ruotsalainen jaloste), ohran (Hannchen), kevätvehnän (Kubanka) ja maissin (Northwestern Dent) haihdutuskertointen kulku vv. 1911—17. Kaikki käyrät ovat samansuuntaisia, joka osoittaa, että sääsuhteet vaikuttavat samalla tavoin kaikkien näiden kasvien haihdutuskertoimiin. Kuitenkin reagoi kaura voimakkaimmin, sillä kun v. 1916 on enemmän kuin kaksi kertaa niin suuri haihdutuskertoin kuin v. 1912. Myöskin maissilla on ero suurimman ja pienimmän haihdutuskertoimen välillä lähes kaksinkertainen. Vähimmän vaihtelee kevätvehnän haihdutuskertoin. Kaikilta vuosilta on olemassa haihtumismittaukset vapaalta vesipinnalta (evaporatio), ja haihdutuskertointen kulku seuraa selvästi evaporatiota. Säätekijöistä on vain lämpötila ja sademäärä havainnoitu. Lämpötilaa esittävä käyrä on samansuuntainen kuin haihdutuskertointenkin. Sademäärä taas kulkee yleensä vastakkaiseen suuntaan. Kun pilvisyys on suuri, saadaan vähän päivänpaistetta ja runsaasti sadetta. Säteilyenergiamäärän pieneneminen ja ilman kosteuden lisääntyminen alentavat haihdutuskertointa. Vuosina 1914—17 olivat lannoitemäärät pienemmät kuin aikaisempina vuosina (katso sivulta 30), jonka vuoksi haihdutuskertoimia esittävät käyrät nousevat loppupäässään korkeammalle tasolle.

III. Eri viljelyskasveille saatuja haihdutuskertoimia.

Ulkonaisten tekijöiden ohella vaikuttaa haihdutuskertoimen suuruuteen myöskin kasvin laji ja kehitysvaihe. Paitsi sitä, että ravinnon otto eri lajeilla ja kasvukauden eri osina on erilainen, on myöskin toisilla lajeilla ja samankin lajin toisilla kehitysvaiheilla veden käyttö erilainen kuin toisilla.

Lawes (1850, p. 38—63) määräsi vehnän, herneen ja apilan haihdutuskertoimet v. 1850 kasvattamalla näitä kasveja 42 naulaa maata vetävissä astioissa, jotka maanpinnalta tapahtuvan haihtumisen vähentämiseksi oli peitetty reijällisillä lasikansilla. Astiat eivät saaneet lannoitusta.

Tutkiessaan kasvipeitteen vaikutusta maan fysikalisiin ominaisuuksiin ja hedelmällisyyteen määräsi Wollny (1877, p. 125) myöskin muutamien viljelyskasvien haihdutuskertoimet v. 1876. 5—12 kilolla lannoittamatonta hietamultaa täytetyt astiat peitettiin reijitetyillä kansilla. Samalla havainnoitiin myöskin kasvuttomasta astiasta samoissa olosuhteissa haihtunut vesi.

Hellriegel (1883, p. 662—663), joka kokeili pääasiassa ohralla, määräsi useiden muidenkin viljelyskasvien haihdutuskertoimen. Hän otti sitten kuuden vuoden kokeista ohralla riittävällä ravinnolla kasvaneiden satojen haihdutuskertoimet, laski keskiarvot eri vuosille ja keskiarvon koko 6-vuotiskaudelle. Muille viljelyskasveille, joilla ei ollut kokeita näin monelta vuodelta, laskettiin keskimääräiset haihdutuskertoimet vertaamalla niille saatuja vuosikeskiarvoja samana vuonna ohralle saatuihin haihdutuskertoimiin ja kertomalla saadut luvut ohran keskimääräisellä haihdutuskertoimella. Tällöin saatiin seuraavat lukusarjat:

Taulukko 10.

Kevätvehnä.		
1867	295 : 328 = 100 : 111	
1868	366 : 390 = 100 : 107	
	Keskim. 100 : 109	
Kevätruis.		
1867	295 : 315 = 100 : 107	
1868	366 : 438 = 100 : 120	
	Keskim. 100 : 114	

Kaura.

1867	295	:	339	= 100	: 115
1868	366	:	464	= 100	: 127
Keskim.				100	: 121

Härkäpapu.

1871	264	:	261	= 100	: 99
1872	318	:	264	= 100	: 83
Keskim.				100	: 91

Herne.

1872	318	:	231	= 100	: 73
1873	347	:	353	= 100	: 102
Keskim.				100	: 88

Puna-apila.

1872	318	:	363	= 100	: 114
1873	347	:	297	= 100	: 86
Keskim.				100	: 100

Lupiini.

1871	264	:	319	= 100	: 121
1872	318	:	427	= 100	: 134
Keskim.				100	: 127

Tattari.

1872	318	:	371	= 100	: 117

Nauris.

1872	318	:	337	= 100	: 106

Ohran keskimääräinen haihdutuskertoin vuosina 1868—1873 oli noin 310. Jos tämän mukaan lasketaan näille eri viljelyskasveille keskimääräinen haihdutuskertoin, saadaan:

Taulukko 11.

Kevätvehnä	100	: 109	= 310	: 338	41	koeastiasta
Kevätruis	100	: 114	= 310	: 353	41	»
Kaura	100	: 121	= 310	: 376	40	»
Härkäpapu	100	: 91	= 310	: 282	9	»
Herne	100	: 88	= 310	: 273	10	»
Puna-apila	100	: 100	= 310	: 310	16	»
Lupiini	100	: 127	= 310	: 394	11	»
Tattari	100	: 117	= 310	: 363	7	»
Nauris	100	: 106	= 310	: 329	3	»
Ohra	100	: 100	= 310	: 310	61	»

King (1918, p. 46) kasvatti v. 1895 eri viljelyskasveja lannoittamattomissa, 400 naulaa sisältävissä astioissa. Maan pinnasta tapahtuva haihtuminen saatiin pieneksi kastelemalla astioita altapäin. Jotta saataisiin eri kasvilajeille haihdutuskertoimet mahdollisimman samoissa olosuhteissa, järjesti Lemmermann (1907, p. 235—236) vv. 1902—1904 koesarjan yksin tätä seikkaa silmälläpitäen. Tässäkään eivät tietysti eri vuosien arvot ole yhtäpitäviä, kun sensijaan saman vuoden haihdutuskertoimet ovat toisiinsa verrattavissa. — Kokeet tehtiin 15 kg maata vetävissä astioissa, joille lannoitukseksi annettiin (K_2SO_4 + KCl) 1.5 g, 1.5 g sitruunahappoon liukenevaa P_2O_5 sekä 0.5 g typpeä $NaNO_3$:na. Maa sisälsi eri kasvinravintoaineita: 0.073 % K_2O, 0.111 % P_2O_5, 0.212 % N sekä 4.10 % CaO. Leather (1910, p. 133—184 ja 1911, p. 205—281) määräsi v. 1911 vehnän, ohran, kauran, herneen ja maissin haihdutuskertoimet. Astiat oli täytetty 12—48 kilolla maata. Haihtuminen maanpinnasta saatiin samalla tavoin käsitellyistä kasvuttomista astioista.

Shantz ja Piemeisel (Briggs ja Shantz 1914, p. 4 ja Shantz ja Piemeisel 1927, p. 1094, 1172—1178) ovat 7-vuotisten kokeiden perusteella vv. 1911—17 määränneet useiden viljelyskasvien haihdutuskertoimet. Vv. 1911—13 sisälsivät astiat 100 kg maata ja lannoituksena annettiin 2.26 g N, 3.74 g P_2O_5 ja 7.83 g K_2O astiaa kohti. Vv. 1914—17 käytettiin 115 kg maata, mutta lannoituksena vain 1.30 g N, 2.24 g P_2O_5 ja 4.57 g K_2O astiaa kohti. Koeastiat oli maanpinnalta haihtumisen ehkäisemiseksi peitetty parafiinilla tiivistetyillä kansilla. Niille kasveille, joita ei ole kasvatettu kaikkina vuosina on haihdutuskertoimet laskettu samaan tapaan kuin Hellriegelin kokeissa käyttämällä kuitenkin useampia mittarilaatuja, joita on viljelty koko ajan. Taulukossa 12 on eri viljelyskasvien haihdutuskertoimina esitetty kaikkien kokeissa olleiden laatujen haihdutuskertointen keskiarvot. Niinpä on esim. vehnän haihdutuskertoin keskiarvo 38 eri laadun haihdutuskertoimista. Näiden suuruus vaihtelee hyvin huomattavasti, ollen se parhaiten vettä käyttävällä laadulla 455 ja huonoimmalla 881. Yleensä ovat haihdutuskertoimet suuria, mikä ilmeisesti suuressa määrin on johtunut vähäisestä lannoituksesta.

Simola (1926, p. 58—63) kasvatti vv. 1923 ja 1924 juurikasveja n. 20 kg maata vetävissä astioissa. Koemaa oli hiekkaa ja savea. Lannoituksena oli 5 g 12 % typpeä sisältävää norjansalpietaria, 8 g 20 % kalisuolaa ja 5.2 g 20 % superfosfatia. Kosteusasteena oli hiekkamaalla 50, savimaalla 60 % kyllästyskosteudesta. Haihtuminen maan pinnasta määrättiin samalla tavoin täytetyistä kasvuttomista astioista. Luvut ovat hiekka- ja savimaatulosten keskiarvoja.

Simola (1929, p. 40, 64) on myös vuosina 1925—27 määrännyt eri kaura- ja ohralaatujen haihdutuskertoimia. Taulukkoon 15 on otettu Osmo II-kauralle v. 1926 ja Ollin ohralle v. 1927 saadut haihdutuskertoimet. Tulokset ovat savimaalta 55 %:iin vesikapasitetista kastelluista astioista. Lannoituksena oli 6 g superfosfatia, 8 g 20 % kalisuolaa ja 10 g norjansalpietaria astiaa kohti. Kun Simolan kokeissa tulokset eri viljelyskasveista on saatu eri vuosina, ei niitä voi verrata toisiinsa.

Taulukkoon 12 on yhdistetty eri tutkijain eri viljelyskasveille saamia haihdutuskertoimia. Taulukko osoittaa, että eri vuosina ja eri tavoin lannoittamalla saadaan aivan erilaisia haihdutuskertoimia. Mutta myöskin eri kasvilajien haihdutuskertointen suhde toisiinsa on eri tutkimuksissa huomattavasti erilainen. Sen vuoksi on vaikeata vastata kysymykseen, mikä viljelyskasvi on vedenkulutuksen suhteen ekonomisin. Kuitenkin näyttää sokerijuurikas käyttävän huomattavasti vähemmän vettä saman kuiva-ainesadon muodostamiseen kuin muut viljelyskasvit. Maissin haihdutuskertoin on myöskin alhainen. Muista viljakasveista ja palkokasveista ovat tulokset ristiriitaisia. Hellriegelin ja Lemmermannin kokeissa ovat palkokasvit olleet parempia vedenkäyttäjinä kuin heinäkasvit. Sensijaan ovat Briggs ja Leather saaneet palkokasveille korkeita haihdutuskertoimia. Tämä johtunee siitä, etteivät he ole palkokasveja lannoittaneet typpilannoitteilla, kuten viljakasveja.

Taulukko 12.

Kasvilaji	Lawes 1850	Hellriegel 1867—72	Wollny 1876	Lemmermann 1904	King 1895	Leather 1911	Briggs ja Shantz 1911—17	Simola 1923—27
Maissi	—	—	233	—	271	377	349	—
Ohra	258	310	774	322	464	468	518	377
Vehnä	247	338	—	323	—	544	545	—
Ruis	—	353	—	256	—	—	634	—
Kaura	—	376	665	414	504	469	583	363
Herne	259	273	416	166	477	563	747	—
Härkäpapu ..	—	282	—	158	—	—	700	—
Vikkeri	—	—	—	194	—	—	794	—
Puna-apila ...	269	310	—	213	577	—	759	—
Timoteiheinä .	—	—	—	291	—	—	—	—
Nauris	—	329	—	—	—	—	—	—
Turnipsi	—	—	—	—	—	—	614	489
Porkkana	—	—	—	—	—	—	—	264
Sokerijuurikas	—	—	—	—	—	—	377	134
Peruna	—	—	—	—	385	—	543	—

IV. Maanviljelystaloudellisella koelaitoksella tehdyt tutkimukset.

Maanviljelystaloudellisen koelaitoksen maanviljelyskemian osastolla on vuosina 1914, 1915, 1916, 1920, 1921 ja 1923 tutkittu eri tekijöiden vaikutusta haihdutuskertoimeen.

Vuonna 1914 (RINDELL 1917, p. 29—36) käytettiin kolmea eri lannoitusta hiekka-, savimulta- ja mutamaalla. Koko lannoituksen ($^1/_1$) muodostui

1.33 g N (0.91 g nitratina, 0.42 g ammoniumsuolana)
1.18 g K_2O
1.08 g P_2O_5
1.12 g CaO
0.32 g MgO
0.65 g SO_3

Osa astioista sai lannoituksen $^1/_1$, osa $^1/_2$ ja osa $^1/_4$ tästä. Koekasvina oli ohra.

Kuudesta samalla tavalla käsitellystä astiasta korjattiin yhden sato neljän ensimmäisen lehden muodostuttua (I kehitysaste), toisen tähkälle tultua (II kehitysaste), kolmannen kukkimisen päätyttyä (III kehitysaste) ja muiden kolmen jyvien tuleennuttua (IV kehitysaste). Eri lannoituksilla saadut keskimääräiset sadonlisäykset ja haihdutuskertoimet laskettuina kasvukauden eri osille ja kasvujaksojen pituudet olivat:

Taulukko 13.

Hiekkamaalla.

	Kasvuaika vrk.	$^1/_1$-lannoitus		$^1/_2$-lannoitus		$^1/_4$-lannoitus	
		Kuiva-ainesato g	Haihdutuskerroin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskerroin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskerroin
I Kasvujakso	21	5.86	415	4.79	530	3.43	618
II »	15	35.82	528	26.03	582	16.30	539
III »	8	36.20	375	25.75	320	13.92	356
IV »	18	33.04	445	13.55	543	6.49	644
Koko kasvukausi	62	110.92	447	70.12	475	40.14	496

Savimaalla.

	Kasvuaika vrk.	1/1-lannoitus Kuiva-ainesato g	1/1-lannoitus Haihdutuskertoin	1/2-lannoitus Kuiva-ainesato g	1/2-lannoitus Haihdutuskertoin	1/4-lannoitus Kuiva-ainesato g	1/4-lannoitus Haihdutuskertoin
I Kasvujakso ...	21	4.98	492	3.71	586	2.85	711
II »	15	42.12	525	26.98	530	24.11	552
III »	8	41.97	406	38.84	498	33.84	491
IV »	31	68.10	447	53.14	495	65.29	423
Koko kasvukausi ..	75	157.17	459	122.68	507	124.43	478

Mutamaalla.

	Kasvuaika vrk.	1/1-lannoitus Kuiva-ainesato g	1/1-lannoitus Haihdutuskertoin	1/2-lannoitus Kuiva-ainesato g	1/2-lannoitus Haihdutuskertoin	1/4-lannoitus Kuiva-ainesato g	1/4-lannoitus Haihdutuskertoin
I Kasvujakso	21	2.75	429	2.86	534	1.33	902
II »	15	30.76	588	20.05	539	7.41	571
III »	8	27.35	442	13.81	442	7.90	481
IV »	23	31.01	473	15.98	454	8.75	609
Koko kasvukausi ..	67	91.87	501	52.71	487	25.39	578

Vuonna 1915 (RINDELL 1920, p. 94—119) olivat koekasveina ohra ja herne kosteusmäärien ja lannoituksen vaihdellessa. Astiat täytettiin puutarhamullalla. 6-tahkoisella ohralla tutkittiin fosfatilannoituksen pois jättämisen (L—P) vaikutusta sekä täyden lannoituksen (L) vaikutusta lannoittamattomiin astioihin (0) verraten. Täyden lannoituksen muodosti 2 g magnesiumsulfatia, 0.5 g natriumkloridia sekä niin paljon kalium-, ammonium- ja kalsiumnitratia, kaliumhydroksidia ja fosforihappoa, että jokainen astia tuli saamaan 1.25 g K_2O, P_2O_5 ja N. Maan kosteus sai vaihdella 55:sta 35:een prosenttiin vesikapasitetista, kuitenkin pidettiin osaa täyden lannoituksen saaneista astioista myöskin 75—55 % kosteusasteella. Korjuu toimitettiin eri kehitysasteilla, kuten edellisenäkin vuonna. 2-tahkoiselle ohralle oli ainoastaan täyden lannoituksen saaneita astioita. Kosteus sai vaihdella 55—35:een. Herne sai saman lannoituksen ilman typpeä, mutta hernekaura sai täyden lannoituksen. Kummallakin oli kosteus 55—35 % vesikapasitetista. Eri kasvujaksoille lasketut sadot ja haihdutuskertoimet on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 14.

Kasvilaji	Lannoitus	Kosteus	I kasvujakso		II kasvujakso		III kasvujakso		IV kasvujakso		Koko kasvukausi	
			Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
Ohra, 6 t.	L	55—35	5.02	262	41.23	273	75.72	228	42.00	268	163.97	250
» »	L—P	»	4.77	281	37.70	294	72.60	221	26.74	272	141.87	252
» »	0	»	4.10	309	35.05	289	42.10	231	23.88	264	105.13	261
» »	L	75—55	4.89	430	44.89	303	86.21	249	49.17	288	185.16	277
» 2 t.	»	55—35	4.76	257	59.78	277	79.50	216	39.06	366	183.14	270
Herne	L—N	55—35	—	—	27.95	323	41.29	235	13.29	199	82.53	254
Hernekaura	L	»	4.22	262	25.46	363	53.93	304	40.97	320	124.58	318

Koko kasvukaudelle laskettujen haihdutuskertointen välillä on ainoastaan pieniä eroja. 6-tahkoisella ohralla on lannoitus alentanut haihdutuskertointa ainoastaan 261:sta 250:een, eikä fosfatilannoituksen pois jättäminen ole vaikuttanut ollenkaan.

Vuonna 1916 täytettiin osa astioista maan adsorptiosta johtuvien häiriöiden vähentämiseksi kvartsihiekan ja kvartsijauheen seoksella. Toisen sarjan astiat täytettiin seoksella 5 kg hiekkaa + 1 kg turvepehkua. Kosteusaste oli 65 % vesikapasitetista ja sai laskeutua 45 prosenttiin. Siten tulivat ensimmäisen sarjan astiat sisältämään 65 %:iin kasteltuina 2.0 litraa, ja toisen sarjan astiat 3.8 litraa vettä. Lannoituksena oli 2.5 g $MgSO_4$, 0.5 g NaCl, 0.5 g $FeCl_3$, 2 g typpeä $Ca(NO_3)_2$:na ja 2 g kalia KOH:na ja fosforihappoa H_3PO_4:na, mikä vastaa seosta yhtäsuurista määristä K_2HPO_4 ja KH_2PO_4. Koekasvina oli ohra. Taaskin korjattiin sadot eri kehitysvaiheilla siten, että viidestä samalla tavoin käsitellystä astiasta korjattiin sato I kehitysasteella ja seuraavilla kehitysasteilla aina neljästä kertausastiasta. Kullekin kasvujaksolle ja koko kasvukaudelle lasketut kuiva-ainesadot ja haihdutuskertoimet olivat:

Taulukko 15.

	I kasvujakso		II kasvujakso		III kasvujakso		IV kasvujakso		Koko kasvukausi	
	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
I sarjassa	2.80	408	23.71	273	40.58	251	56.34	219	123.43	240
II »	2.95	387	22.77	358	40.27	266	86.73	313	152.72	309

II sarjan astioissa on suuremman vesikapasitetin vuoksi ollut kasveilla tarjolla enemmän vettä kuin ensimmäisessä sarjassa. Sentähden on sato täällä suurempi. Suurempi vesimäärä on kuitenkin pienentänyt ravintoainekonsentratiota, jonka takia haihdutuskertoin on tullut suuremmaksi kuin ensimmäisessä sarjassa.

Vuoden 1920 koesarjat.

Koska eri kokeet olivat antaneet haihdutuskertoimen arvoksi aivan eri suuruusluokkiin kuuluvia tuloksia, joita ei voi selittää muuten kuin säätekijöiden vaihteluista johtuviksi, järjestettiin vuonna 1920 72 astiaa käsittävä koesarja, jonka tarkoituksena oli tutkia niiden vaikutusta haihdutuskertoimeen erilaisen lannoituksen saaneilla kasveilla ja eri kehitysjaksoina. Koekasvina oli kaura.

Koeastiat tarattiin ensin soralla (n. 3.5 kg) 6 kiloon. Sitten pantiin 1 kg karkeata hiekkaa (2.67 % kosteutta). Hiekan päälle tuli 8 kg multaa, sisältäen 69.01 % kuiva-ainetta, josta hehkutuskevennys oli 29.94 %. Päällimmäiseksi pantiin vielä haihtumisen vähentämiseksi 1 kg karkeata hiekkaa. Lannoitukseksi saivat astiat 30 mM (millimolia) Na_2HPO_4 kolmessa erässä [1]) ja seoksen 40 mM K_2SO_4 + 40 mM KCl + 40 mM KNO_3 + 40 mM $Ca(NO_3)_2$ + 40 mM $Mg(NO_3)_2$ + 200 mM NH_4NO_3 neljässä osassa [2]) kasvukauden kuluessa. Kosteutena pidettiin 60—70 % kyllästyskosteudesta, vastaten 4.8—5.6 l. vettä.

Jotta sääsuhteet saataisiin erilaisiksi, kylvettiin kasvit kolmena eri aikana. Ensimmäiset 24 astiaa, jotka kaikki olivat lannoitettuja, kylvettiin toukokuun 11 päivänä ja orastuivat 26/5. Korjuu toimitettiin aina neljästä kertausastiasta siten, että ensimmäisen sadon kasvuaika tuli olemaan 15 vuorokautta, toisen 30, kolmannen 45, neljännen 65, viidennen 85 ja kuudennen, täysin tuleentuneen sadon 102 vrk. Toinen kylvö suoritettiin 25/5 ja nousi oraalle 5/6. 6 astiasta, joista kolme oli lannoitettua ja kolme lannoittamatonta, korjattiin sato 20 vrk. orastumisen jälkeen, seuraavista kuudesta 20 vrk. ensimmäisen korjuun jälkeen, samoin seuraavista 20 vrk. toisen korjuun jälkeen. Täysin tuleentunut sato korjattiin 32 vrk. edellisestä korjuusta. Kolmannella kylvöajalla (7/6) oli 24 astiaa, joista samoin kuin edellisistä puolet oli lannoitettuja, puolet lannoittamattomia. Korjuu toimitettiin taas kolmesta lannoittamattomasta ja kolmesta lannoitetusta yhtäaikaa ja olivat eri kasvuajat 24, 44, 64 ja 96 vrk. Eri astioiden sadot ja vedenkulutukset sekä haihdutuskertoimet eri sadoille on esitetty taulukoissa 17—21. Kuten taulukoista näkyy, on kussakin sarjassa ollut yksi koeastia maanpinnalta tapahtuvan vedenhaihtumisen määräämistä varten. Kasvien haihduttamaksi vesimääräksi on laskettu kunkin astian vedenkulutuksen ja sarjaan sisältyvän kasvuttoman astian vedenkulutuksen eroitus. Sadon ja vedenkulutuksen keskiarvojen perusteella on laskettu sato, vedenkulutus ja haihdutuskertoin eri kasvujaksoille. Taulukoissa

[1]) I kylvö $^{14}/_5$, $^{16}/_6$ ja $^{17}/_6$, II kylvö $^{27}/_5$, $^{19}/_6$ ja $^{26}/_6$ ja III kylvö $^{9}/_6$, $^{23}/_6$ ja $^{28}/_7$.

[2]) I kylvö $^{23}/_5$, $^{10}/_6$, $^{26}/_6$ ja $^{12}/_7$, II kylvö $^{3}/_6$, $^{26}/_6$, $^{16}/_7$ ja $^{5}/_8$ ja III kylvö $^{19}/_6$, $^{8}/_7$, $^{27}/_7$ ja $^{16}/_8$.

Taulukko 16.

Astiakokeet v. 1920.

Kylvö ja lannoitus	Kasvuaika	Keski-lämpötila	t—t′ klo 2 p. keski-määrin	Lisäkasvu päivässä keski-määrin	Kasvujaksojen Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
	26/5— 9/6	16.0	4.94	0.347	5.2	271
	10/6—24/6	18.6	6.96	2.303	34.6	242
I Kylvö 11/5	25/6— 9/7	21.0	6.22	5.733	86.0	219
lannoitettu	10/7—29/7	21.5	5.34	4.575	91.5	384
	30/7—18/8	17.5	2.96	1.288	25.8	465
	19/8— 4/9	17.2	2.98	0.456	7.8	411
	5/6—24/6	17.1	6.10	0.520	10.4	376
II Kylvö 25/5	25/6—14/7	22.5	6.76	4.280	85.6	339
lannoitettu	15/7— 3/8	19.3	3.88	3.835	76.7	257
	4/8— 4/9	17.2	3.02	2.871	89.0	295
	5/6—24/6	17.1	6.10	0.280	5.6	527
II Kylvö	25/6—14/7	22.5	6.76	2.020	40.4	488
lannoittamaton	15/7— 3/8	19.3	3.88	1.175	23.5	302
	4/8— 4/9	17.2	3.02	0.355	11.0	468
	13/6— 6/7	20.7	6.50	0.721	17.3	362
III Kylvö 7/6	7/7—26/7	21.7	5.96	3.045	60.9	339
lannoitettu	27/7—15/8	18.0	3.12	3.334	66.8	255
	16/8—15/9	16.2	2.68	1.973	59.2	300
	13/6— 6/7	20.7	6.50	0.458	11.0	467
III Kylvö	7/7—26/7	21.7	5.96	1.815	36.3	408
lannoittamaton	27/7—15/8	18.0	3.12	1.420	28.4	294
	16/8—15/9	16.2	2.68	0.160	4.8	444

on esitettynä kunkin sadon kasvuajan ja kunkin kasvujakson keskilämpötila vähennettynä 6°:lla. Ilman kosteuden ilmaisemiseksi on käytetty kuivan ja kostean lämpömittarin lämpötilaeroa (t—t′). Taulukoissa on esitetty klo 2 päivällä tehdyistä havainnoista lasketut lämpötilaerojen keskiarvot. Vertailun helpoittamiseksi on kokeen tulokset yhdistetty taulukkoon 16, jossa paitsi kunkin kasvujakson haihdutuskertointa, kuiva-ainesatoa, keskilämpötilaa ja kuivan ja kostean lämpömittarin lämpötilaeron keskiarvoa on ilmoitettuna keskimääräinen lisäkasvu päivää kohti eri kasvujaksoina.

Kasvukauden alussa on haihdutuskertoin suuri, mutta sitä mukaa kuin kasvu vilkastuu, alenee haihdutuskertoin, ollen yleensä pienin silloin, kun energian käyttö on suurin. Loppupuolella kasvukautta, jolloin haihduttava pinta on suuri, mutta lehtien yhteyttämiskyky on heikentynyt, kohoaa haihdutuskertoin jälleen.

Jos sitten tarkastellaan samoja kehitysasteita vastaavien kasvujaksojen haihdutuskertoimia, on säännöllisesti siellä, missä haihdutuskertoin on suurempi, syy löydettävissä korkeammasta lämpötilasta ja suuremmasta t—t′:n arvosta.

Taulukko 17.

Ensimmäinen kylvö, 11/5. 1920.

Astian numero	Veden kulutus ccm	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Korjuupäivä	Sade	Lämpöt. yli 6°	t—t' klo 2 p.
1.	1 460	5.3	275.4				
3.	1 359	5.3	256.4				
4.	1 361	5.0	272.2	10/6			
5.	1 459	5.2	280.5				
51.	500	—	—		42.3	149.5	74.2
Keskim. I. .	1 410	5.2	271.1		2.82	10.0	4.9
6.	10 399	40.0	259.9				
7.	9 876	38.5	256.5				
9.	9 619	41.5	231.7	25/6			
34.	9 141	39.0	234.3				
51.	1 100	—	—		49.9	339.2	178.7
Keskim. II.	9 759	39.8	245.6		1.7	11.3	6.0
					7.6	189.7	104.5
(II—I	8 349	34.55	241.6		0.5	12.6	7.0)
35.	28 769	128.0	224.7				
36.	28 548	126.0	226.5				
37.	28 566	125.0	228.5	10/7			
38.	28 538	124.0	230.1				
51.	1 800	—	—		53.5	564.5	271.9
Keskim. III.	28 605	125.3	227.5		1.2	12.5	6.0
					3.6	225.3	93.2
(III—II ...	18 847	86.0	219.1		0.2	15.0	6.2)
39.	61 031	203.0	300.6				
40.	62 560	218.0	286.9				
41.	67 183	224.0	299.9	30/7			
47.	64 187	224.0	286.5				
51.	2 800	—	—		87.3	874.4	378.6
Keskim. IV.	63 740	217.3	293.5		1.3	13.4	5.8
					34.3	309.9	106.7
(IV—III ..	35 135	91.5	384.0		1.7	15.5	5.3)
42.	77 880	256.4	303.7				
43.	76 130	234.4	324.8				
44.	75 480	252.9	298.5	19/8			
45.	73 380	228.3	321.4				
51.	3 020	—	—		170.3	1 103.9	437.6
Keskim. V..	75 718	243.0	312.1		2.0	12.9	5.1
					82.5	229.5	59.0
(V—IV	11 977	25.75	465.1		4.1	11.5	3.0)
46.	81 900	275.3	297.4				
48.	79 200	244.5	323.9				
49.	81 100	262.4	309.0	4/9			
50.	73 500	220.8	332.8				
51.	3 300	—	—		198.3	1 283.0	488.4
Keskim. VI.	78 925	250.8	314.5		2.0	12.7	4.9
					28.0	179.1	50.8
(VI—V	3 207	7.8	410.6		1.7	11.2	3.0)

Taulukko 18.

Toinen kylvö, 25/5. 1920.

1. Lannoitettu.

Astian numero	Veden kulutus ccm	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Korjuupäivä	Sade	Lämpöt. yli 6°	t—t' klo 2 p.
52.	4 166	10.9	382.2				
53.	3 793	9.8	387.0	25/6			
54.	3 719	10.4	357.6				
97.	450	—	—		16.6	221.8	121.9
Keskim. I. .	3 893	10.4	375.6		0.8	11.1	6.1
55.	33 156	97.0	341.8				
56.	32 662	94.0	347.4	15/7			
57.	32 840	97.0	338.5				
97.	1 250	—	—		20.2	551.9	257.2
Keskim. II.	32 886	96.0	342.6		0.5	13.8	6.4
					3.6	330.1	135.3
(II—I	28 993	85.6	338.7		0.2	16.5	6.8)
58.	52 250	172.0	303.7				
59.	53 200	175.0	304.0	4/8			
93.	52 400	171.0	306.4				
97.	1 750	—	—		80.0	818.0	335.0
Keskim. III.	52 617	172.7	304.7		1.3	13.6	5.6
					59.8	266.1	77.8
(III—II ..	19 731	76.7	257.4		2.9	13.3	3.9)
94.	76 950	247.7	310.6				
95.	77 550	262.6	295.9	4/9			
96.	82 150	274.7	299.8				
97.	2 150	—	—		165.0	1 165.6	431.6
Keskim. IV.	78 883	261.7	302.1		1.8	12.8	4.7
					85.0	347.6	96.6
(IV—III ..	26 267	89.0	295.1		2.7	11.2	3.0)

Taulukko 19.

Toinen kylvö, 25/5. 1920.

2. Lannoittamaton.

Astian numero	Veden kulutus ccm	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Korjuupäivä	Sade	Lämpöt. yli 6°	t—t' klo 2 p.
1.	3 029	6.0	504.8				
2.	3 014	6.0	502.3	25/6			
3.	2 758	4.8	574.5				
15.	1 850	—	—		16.6	221.3	121.9
Keskim. I. .	2 934	5.6	527.2		0.8	11.1	6.1
4.	22 612	46.0	491.5				
5.	22 765	47.0	484.3	15/7			
6.	22 592	45.0	502.0				
15.	2 850	—	—		20.2	551.9	257.2
Keskim. II.	22 656	46.0	492.6		0.5	13.8	6.4
					3.6	330.1	135.3
(II—I	19 723	40.4	488.2		0.2	16.5	6.8)
7.	29 100	68.0	427.9				
10.	29 350	69.5	422.3	4/8			
11.	30 800	71.0	433.8				
15.	3 450	—	—		80.0	818.0	335.0
Keskim. III.	29 750	69.5	428.0		1.3	13.6	5.6
					59.8	266.1	77.8
(III—II ..	7 094	23.5	301.9		3.0	13.3	3.9)
12.	34 100	78.5	434.3				
13.	34 700	78.5	442.0	4/9			
14.	35 900	84.5	424.8				
15.	4 350	—	—		165.0	1 165.6	431.6
Keskim. IV.	34 900	80.5	433.7		1.8	12.8	4.7
					85.0	347.6	96.6
(IV—III ..	5 150	11.0	468.2		2.74	11.2	3.0)

Taulukko 20.

Kolmas kylvö, 7/6. 1920.

1. Lannoitettu.

Astian numero	Veden kulutus ccm	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Korjuupäivä	Sade	Lämpöt. yli 6°	t—t' klo 2 p.
16.	6 200	16.8	369.1				
17.	6 220	17.0	365.9	7/7			
18.	6 370	18.1	352.0				
30.	1 100	—	—		7.4	352.9	155.9
Keskim. I. .	6 263	17.3	362.3		0.3	14.7	6.5
19.	28 041	76.0	368.9				
20.	26 521	80.5	329.4	27/7			
21.	26 094	78.0	334.5				
30.	2 700	—	—		35.4	667.2	275.0
Keskim. II.	26 885	78.2	344.3		0.8	15.2	6.3
					28.0	314.3	119.1
(II—I	20 622	60.9	338.8		1.4	15.7	6.0)
25.	41 700	142.0	293.6				
26.	45 100	144.0	313.1	16/8			
28.	44 900	149.0	301.3				
30.	3 200	—	—		118.8	908.1	337.4
Keskim. III.	43 900	145.0	302.7		1.9	14.2	5.3
					83.4	240.9	62.4
(III—II ..	17 015	66.8	254.6		4.2	12.0	3.1)
29.	60 450	204.7	295.3				
32.	64 100	208.0	308.1	15/9			
33.	60 450	200.0	302.2				
30.	3 850	—	—		169.1	1 215.0	420.2
Keskim. IV.	61 667	204.2	301.9		1.8	12.9	4.4
					50.3	306.9	82.8
(IV—III ..	17 767	59.2	299.9		1.7	10.2	2.7)

Taulukko 21.

Kolmas kylvö, 7/6. 1920.

2. Lannoittamaton.

Astian numero	Veden kulutus ccm	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Korjuupäivä	Sade	Lämpöt. yli 6°	t−t′ klo 2 p.
34.	5 140	10.8	475.9				
35.	5 200	11.4	456.1	7/7			
36.	5 050	10.8	467.6				
100.	1 700	—	—		7.4	352.9	155.9
Keskim. I..	5 130	11.0	466.5		0.3	14.7	6.5
37.	20 919	49.0	426.9				
42.	18 093	45.0	402.0	27/7			
43.	20 896	48.0	435.3				
100.	3 100	—	—		35.4	667.2	275.0
Keskim. II.	19 969	47.3	421.4		0.8	15.2	6.3
					28.0	314.3	119.1
(II—I	14 839	36.3	408.4		1.4	15.7	6.0)
44.	27 500	73.5	374.1				
45.	28 400	74.7	380.1	16/8			
48.	29 100	79.1	367.8				
100.	3 500	—	—		118.8	908.1	337.4
Keskim. III.	28 333	75.8	374.0		1.9	14.2	5.3
					83.4	240.9	62.4
(III—II ..	8 364	28.4	294.2		4.2	12.0	3.1)
50.	30 600	81.0	377.7				
51.	30 900	77.9	396.6	15/9			
53.	29 900	82.8	361.1				
100.	3 950	—	—		169.1	1 215.6	420.2
Keskim. IV.	30 467	80.6	378.5		1.8	12.9	4.4
					50.3	306.9	82.8
(IV—III ..	2 133	4.8	444.4		1.7	10.2	2.7)

Vuoden 1921 koesarjat.

Vuoden 1921 kokeilla tutkittiin sulfatilannoituksen vaikutusta ohran ja herneen satoihin ja haihdutuskertoimiin sekä kohoavien ammoniumnitrati- ja natriumfosfatimäärien vaikutusta ohran satoon ja haihdutuskertoimeen.

Astiat täytettiin seuraavasti. Tarattiin 8 kiloon soralla (n. 5.5 kg 1.5—7 mm), sen päälle 10 kg hiekkaa (< 1.5 mm) ja päällimmäiseksi 1.5 kg soraa. Näin täytettyinä pidättivät astiat hiekan sisältämän 27 gramman lisäksi 3 150 g vettä. Kastelupainona pidettiin 21.5 kg, mikä vastaa 64 % vesikapasitetista. Täten tulivat astiat kasvukauden kuluessa sisältämään n. 2 litraa vettä. Lannoituksena annetuista kasvinravintoainemääristä, jotka koeselostuksissa on esitetty milligrammaioneissa, saadaan siis konsentratiot millimolarisuutena jakamalla luvut kahdella.

Taulukoissa 22—25 on esitetty haihdutuskertoimen laskemiseen eri astioiden sadoille tarvittavat numerotiedot. Otamme tähän ainoastaan saman käsittelyn saaneiden astioiden keskiarvot.

Sulfatilannoitus herneellä. Kylvö 20/5, korjuu 25/7. Peruslannoituksen muodosti 10 $Ca^{\cdot\cdot}$, 10 $Mg^{\cdot\cdot}$, 40 $Na^{\cdot}$, 20 $K^{\cdot}$, 50 NO_3', 20 HPO_4'' ja 10 Cl'. Kolme astiaa sai ainoastaan peruslannoituksen, ja samoin kolme vertausastiaa 4, 10 ja 20 SO_4'' puoliksi natrium- ja puoliksi kaliumsulfatina. Kuiva-ainesatojen ja haihdutuskertointen keskiarvot eri käsittelyillä olivat:

	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
Peruslannoitus yksinään	33.3	227
» + 4 SO_4''	34.3	224
» + 10 »	27.7	209
» + 20 »	21.3	192

Aluksi on sulfatilisäys kohottanut satoa, mutta jo 10 milligrammaionia on vaikuttanut haitallisesti. Haihdutuskertoimeen kohoavat sulfatimäärät vaikuttavat alentavasti.

Sulfatilannoitus ohralla. Kylvö 18/5, korjuu 25/7. Sarjan peruslannoituksena oli 10 $Ca^{\cdot\cdot}$, 10 $Mg^{\cdot\cdot}$, 20 $K^{\cdot}$, 40 $Na^{\cdot}$, 50 $NH_4^{\cdot}$, 100 NO_3', 20 HPO_4'' ja 10 Cl'. Peruslannoitusta lukuunottamatta olivat käsittelyt samat kuin hernesarjallakin. Keskimääräiset kuiva-ainesadot ja haihdutuskertoimet taulukosta 23 ovat:

	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin
Peruslannoituksella yksinään	54.6	232
» + 4 SO_4''	60.3	220
» + 10 »	66.9	238
» + 20 »	66.7	224

Tälläkin on sulfati aluksi vaikuttanut satoa kohottaen. Sen vaikutus haihdutuskertoimeen on vähäinen.

Taulukko 22.

Sulfatilannoitus herneellä.

Astian numero	Veden kulutus ccm	Ilmakuivasato g	Haihdutuskertoin	Lannoitus	
				10 ccm 1-m. $Ca^{\cdot\cdot}$	
				10 » » » $Mg^{\cdot\cdot}$	
84.	7 450	34	219.1	40 » » » $Na^{\cdot}$	perus-
86.	7 650	32	239.1	20 » » » $K^{\cdot}$	lannoi-
87.	7 600	34	223.5	50 » » » NO_3'	tus.
Keskim.	7 567	33.3	227.2	20 » » » HPO_4''	
				10 » » » Cl'	
88.	7 350	34	216.1	peruslannoitus +	
90.	8 000	36	222.2	4 ccm 1-m. $K^{\cdot}$	
91.	7 700	33	233.3	4 » » » $Na^{\cdot}$	
Keskim.	7 683	34.3	224.0	4 » » » SO_4''	
92.	5 100	24	212.5	peruslannoitus +	
93.	7 150	33	216.7	10 ccm 1-m. $K^{\cdot}$	
95.	5 100	26	196.2	10 » » » $Na^{\cdot}$	
Keskim.	5 783	27.7	208.8	10 » » » SO_4''	
96.	3 450	20	172.5	peruslannoitus +	
98.	4 200	20	210.0	20 ccm 1-m. $K^{\cdot}$	
99.	4 600	24	191.3	20 » » » $Na^{\cdot}$	
Keskim.	4 083	21.3	191.7	20 » » » SO_4''	

Taulukko 23.

Sulfatilannoitus ohralla.

Astian numero	Veden kulutus ccm	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Lannoitus	
				10 ccm 1-m. $Ca^{\cdot\cdot}$	
				10 » » » $Mg^{\cdot\cdot}$	
1.	12 600	56.0	225.0	20 » » » $K^{\cdot}$	
2.	12 650	53.5	236.4	40 » » » $Na^{\cdot}$	perus-
3.	12 750	54.3	234.8	50 » » » $NH_4^{\cdot}$	lannoi-
Keskim.	12 667	54.6	232.0	20 » » » $HPO_4^{\prime\prime}$	tus.
				100 » » » $NO_3^{\prime}$	
				10 » » » $Cl^{\prime}$	
5.	13 100	58.3	224.7	peruslannoitus +	
6.	13 650	61.8	220.9	4 ccm 1-m. $SO_4^{\prime\prime}$	
7.	12 450	60.8	214.6	4 » » » $K^{\cdot}$	
Keskim.	13 067	60.3	220.1	4 » » » $Na^{\cdot}$	
9.	15 750	68.3	230.6	peruslannoitus +	
10.	14 800	63.9	231.7	10 ccm 1-m. $SO_4^{\prime\prime}$	
12.	17 300	68.6	252.2	10 » » » $K^{\cdot}$	
Keskim.	15 950	66.9	238.2	10 » » » $Na^{\cdot}$	
14.	16 600	71.3	232.8	peruslannoitus, +	
15.	14 350	65.0	220.8	20 ccm 1-m. $SO_4^{\prime\prime}$	
16.	14 000	63.7	219.8	20 » » » $K^{\cdot}$	
Keskim.	14 983	66.7	224.5	20 » » » $Na^{\cdot}$	

Taulukko 24.

Ammoniumnitratilannoitus ohralla.

Astian numero	Veden kulutus ccm	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Lannoitus	
				10 ccm 1-m. $Ca^{\cdot\cdot}$	
				10 » » » $Mg^{\cdot\cdot}$	
17.	800	2.0	400.0	30 » » » $K^{\cdot}$	
19.	1 000	2.3	434.8	40 » » » $Na^{\cdot}$	
20.	750	2.1	357.1	20 » » » SO_4''	
Keskim.	850	2.1	397.3	20 » » » HPO_4''	
				30 » » » Cl'	
				10 ccm 1-m. $Ca^{\cdot\cdot}$	
				10 » » » $Mg^{\cdot\cdot}$	
21.	11 200	46.5	240.9	30 » » » $K^{\cdot}$	perus-
22.	12 300	51.2	240.2	40 » » » $Na^{\cdot}$	lannoi-
23.	12 500	51.2	244.1	40 » » » NO_3'	tus.
Keskim.	12 000	49.6	241.7	10 » » » SO_4''	
				20 » » » HPO_4''	
				10 » » » Cl'	
25.	14 150	62.6	226.0		
26.	12 100	54.0	224.1	peruslannoitus +	
28.	16 200	65.4	247.7	50 ccm 1-m. NH_4NO_3	
Keskim.	14 150	60.7	232.6		
29.					
30.	Taimet kuolleet			peruslannoitus +	
31.				100 ccm 1-m. NH_4NO_3	
32.					

Taulukko 25.

Natriumfosfatilannoitus ohralla.

Astian numero	Vedenkulutus ccm	Kuiva-ainesato g	Haihdutuskertoin	Lannoitus	
				10 ccm 1-m. $Ca^{\cdot\cdot}$	
				10 » » » $Mg^{\cdot\cdot}$	
59.	4 350	16.9	257.4	40 » » » $K^{\cdot}$	perus-
60.	4 000	16.7	239.5	50 » » » $NH_4^{\cdot}$	lannoi-
61.	3 450	13.3	259.4	100 » » » NO_3'	tus
Keskim.	3 600	15.6	252.1	10 » » » SO_4''	
				10 » » » Cl'	
63.	13 750	59.6	230.7		
64.	15 500	57.5	229.6	peruslannoitus +	
65.	15 000	65.5	229.0	20 ccm 1-m. $Na^{\cdot}$	
Keskim.	14 750	60.7	229.8	10 » » » . HPO_4''	
67.	17 400	74.8	232.6		
69.	20 200	79.8	253.1	peruslannoitus +	
70.	16 500	73.8	223.6	40 ccm 1-m. $Na^{\cdot}$	
Keskim.	18 033	76.1	236.4	20 » » » HPO_4''	
72.	9 800	47.0	208.5		
73.	11 700	56.8	206.0	peruslannoitus +	
74.	11 000	50.2	219.1	80 ccm 1-m. $Na^{\cdot}$	
Keskim.	10 833	51.3	211.2	40 » » » HPO_4''	

Ammoniumnitratilannoitus ohralla. Kylvö 18/5, korjuu 25/7.

Peruslannoitukseksi annettiin 10 $Ca^{\cdot\cdot}$, 10 $Mg^{\cdot\cdot}$, 30 $K^{\cdot}$, 40 $Na^{\cdot}$, 40 NO_3', 10 SO_4'', 20 HPO_4'' ja 10 Cl'. Käsittelyt olivat I typetön peruslannoitus, II typellinen peruslannoitus, III kuten II + 50 NH_4NO_3 ja IV kuten II + 100 NH_4NO_3. Eri käsittelyillä saatujen kuiva-ainesatojen ja haihdutuskertointen keskiarvot taulukosta 24 ovat:

Käsittely	Kuiva-ainesato	Haihdutuskertoin
I	2.1 g	397
II	49.6 »	242
III	60.7 »	233

IV käsittelyn saaneissa astioissa kuolivat kaikki taimet. Siirryttäessä typpilannoituksessa 0:sta 40:een milligrammaioniin on vaikutus sekä haihdutuskertoimeen että kuiva-ainesatoon hyvin selvä, typpimäärän kohotessa 140 milligrammaioniin on vaikutus paljon heikompi, joskin selvästi huomattavissa.

Natriumfosfatilannoitus ohralla.

Tässä sarjassa oli käsittelynä I peruslannoitus: 10 $Ca^{\cdot\cdot}$, 10 $Mg^{\cdot\cdot}$, 40 $K^{\cdot}$, 50 $NH_4^{\cdot}$, 100 NO_3', 10 SO_4'' ja 10 Cl', II peruslannoitus + 10 Na_2HPO_4, III peruslannoitus + 20 Na_2HPO_4 ja IV peruslannoitus + 40 Na_2HPO_4. Yhteenveto taulukosta 25 antaa eri käsittelyillä kuiva-ainesadoiksi ja haihdutuskertoimiksi:

	Kuiva-ainesato	Haihdutuskertoin
Peruslannoitus yksinään	15.6	252
» + 10 Na_2HPO_4	60.7	230
» + 20 »	76.1	236
» + 40 »	51.3	211

Fosfatilannoituksellakin on haihdutuskertointa pienentävä vaikutus, joskin paljon heikompi kuin typpilannoituksella. Elektrolyytikonsentration tultua haitallisenkin suureksi on haihdutuskertoin pienentynyt.

Vuoden 1923 koesarjat.

Vuoden 1923 koesarjojen tarkoituksena oli, kuten vuoden 1920 kokeillakin, tutkia säätekijäin vaikutusta kasvien haihdutuskertoimeen. Erikoisesti kiinnitettiin huomiota säteilyenergian mittaamiseen, koska tämän tärkeän kasvutekijän vaikutusta ei vielä ole selvitetty.

Mittauksissa käytetyt kojeet.

Lämpötila määrättiin tavallisella viikkotermografilla, jolle laskettiin korjaukset kolme kertaa päivässä Assmannin psykrometrin lämpömittarilla tehdyistä havainnoista.

Ilman kosteuden mittaamiseen käytettiin hiushygrografia, jonka korjaukset laskettiin psykrometrihavainnoista.

Lämpötiloille ja t—t':lle laskettiin 24-tuntiset keskiarvot termo- ja hygrogrammien mukaan.

Säteilyintensiteti määrättiin Michelsonin aktinometrillä. Päivänpaisteen aikamittaukset suoritettiin aurinkoautografilla. Kertomalla päivänpaisteen kestävyys eri vuorokauden aikoina vastaavalla intensitetillä saadaan suoranaisen auringonsäteilyn energiamäärät, jotka, laskettuna vuorokausittain 1 cm²:lle vaakasuoraa pintaa on esitetty taulukossa 26. Niinä aikoina, joilta ei ole intensitetimittauksia, on intensiteti arvioitu autografin polttojälkien mukaan. Tutkimustemme mukaan oli polttojäljen ja säteilyintensitetin välillä seuraava suhde:

Polttojälki	Säteilyintensiteti kal./cm² min.
I Musta, kapeampi kuin 0.5 mm	0.4—0.6
II » leveämpi » » »	0.6—0.7
III Harmaa, mutta ei ulotu liuskan lävitse	0.7—0.9
IV Reunoiltaan harmaa, ulottuu liuskan lävitse	0.9—1.0
V Pinnalta leveämpi kuin pohjalta, ei sisällä tuhkaa	1.0—1.2
VI Reunat jyrkät	1.2—

Säteilymittaukset lopetettiin 28/8, kun sensijaan viimeinen sato korjattiin 26/10. Lopulle kasvukautta olemme käyttäneet Lundelundin (1924, p. 72) vuodelle 1923 esittämiä säteilymääriä.

Astiakokeet 1923.

Koeastiat täytettiin seuraavasti. Pohjalle pantiin ensin karkeata soraa niin paljon (n. 3.5 kg), että astiat senjälkeen painoivat 6 kg. Sen päälle punnittiin 2 kiloa karkeata hiekkaa, joka sisälsi 0.5 % kosteutta. Varsinaisena täytteenä oli 8 kg savimultamaata (hehkutuskevennys 12.8 %), joka sisälsi 26 % vettä. Pinnalta haihtumisen vähentämiseksi peitettiin astiamullat vielä 2 kilolla karkeata hiekkaa. Kastelupainoksi otettiin se astioitten paino, jolloin täyte sisälsi 70 % vesikapasitetista vettä. Tämän kosteusasteen saavuttamiseksi oli astioihin niiden sisältämän kosteuden (2.1 kg) lisäksi pantava vielä 1.35 kg vettä.

Lannoituksena oli (millimoleissa) 40 KH_2PO_4, joka sekoitettiin koemaahan astioita täytettäessä, 20 $Ca(NO_3)_2$, 20 $Mg(NO_3)_2$, 20 K_2SO_4 ja 20 NaCl, jotka annettiin 1 litrassa vettä astioihin sekä 100 NH_4NO_3, joka annettiin vasta kolmannen kasvujakson alussa. Kylvö toimitettiin, kuten vuonna 1920 kolmena eri aikana ja kuului kuhunkin sarjaan 16 astiaa. Koekasvina oli kaura.

Ensimmäinen kylvö suoritettiin 16/5 ja nousi oraalle 26/5 ja 27/5. Sato korjattiin kolmessa osassa. Ensimmäiset 8 astiaa kor-

Taulukko 26.

Päivittäinen suoranainen säteily 1 cm²:lle vaakasuoraa pintaa 31/5—29/8 1923.

Päivä	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu
1	—	6	259	205
2	—	136	531	0
3	—	102	556	164
4	—	17	497	0
5	—	204	429	428
6	—	161	332	467
7	—	234	537	156
8	—	289	173	320
9	—	0	571	385
10	—	527	520	0
11	—	147	456	118
12	—	105	436	60
13	—	175	468	461
14	—	46	364	256
15	—	76	522	14
16	—	83	420	0
17	—	82	504	0
18	—	452	0	48
19	—	481	343	259
20	—	111	392	0
21	—	86	284	0
22	—	43	204	314
23	—	181	184	388
24	—	302	206	0
25	—	261	286	306
26	—	300	345	212
27	—	283	153	99
28	—	47	401	3
29	—	463	470	73
30	—	229	168	—
31	480	—	129	—

jattiin I kehitysjakson (kts. siv. 32) päätyttyä eli 3/7, seuraavat 4 III kehitysvaiheessa (8/8) ja loput täysin tuleentuneena (1/10). Tämä sarja joutui kasvukautensa alussa kasvamaan epäedullisissa olosuhteissa, m. m. äkillinen raesade 5/6 pääsi runtelemaan kasveja. Senvuoksi onkin ensimmäinen kasvujakso tavallista pitempi.

Taulukko 27.

Ensimmäinen kylvö 16/5 1923 (nousivat oraalle 26/5).

Astian n:o	Korjuupäivä	Kuiva-ainesato g	Veden kulutus ccm	Haihdutuskertoin	Lämpötilasummat t—6°	Kaloriasummat 1 cm²:lle vaakasuoraa pintaa	t—t′
1.	3/7	3.63	1 140	314.0			
2.	»	4.29	1 520	354.3			
3.	»	4.13	1 410	341.4			
4.	»	3.59	1 330	370.5			
6.	»	3.51	1 240	353.8			
7.	»	3.84	1 200	313.3			
8.	»	3.59	1 270	353.8			
9.	»	4.47	1 530	342.3			
	38 vrk.	3.88	1 330	342.6	143.8	8 784	79.4
Keskim.	päivässä	0.102	35.0	342.6	3.78	231.2	2.1
11.	8/8	86.8	28 395	327.1			
12.	»	79.5	27 620	347.4			
13.	»	83.5	27 200	325.7			
14.	»	87.1	27 950	320.9			
	74 vrk.	84.2	27 791	330.3	483.7	20 554	171.8
Keskim.	päivässä	1.14	375.6	—	6.54	277.8	2.3
	36 vrk.	80.34	26 461	329.4	339.9	11 770	92.4
Keskim.	päivässä	2.232	635.0	329.4	9.44	326.9	2.6
15.	1/10	189.7	55 570	292.9			
16.	»	186.0	55 045	295.9			
17.	»	203.0	57 270	282.1			
18.	»	182.9	53 800	294.1			
	128 vrk.	190.4	55 421	291.2	773.3	27 836	239.2
Keskim.	päivässä	1.488	433.0	—	6.04	217.5	1.9
	54 vrk.	106.2	27 630	260.2	289.6	7 282	67.4
Keskim.	päivässä	1.967	511.7	260.2	5.36	134.9	1.2

Taulukko 28.

Toinen kylvö 30/5 (nousivat oraalle 9/6).

Astian n:o	Korjuu-päivä	Kuiva-ainesato g	Veden kulutus ccm	Haihdu-tuskerroin	Lämpötila-summat $t-6^{0}$	Kaloriasummat 1 cm²:lle vaakasuoraa pintaa	$t-t'$
19.	9/7	7.34	2 910	396.5			
20.	»	7.73	3 050	394.6			
21.	»	8.09	3 210	396.8			
22.	»	8.43	3 340	396.2			
	30 vrk.	7.90	3 128	395.9	186.5	7 794	67.4
	Keskim. päivässä	0.263	104.3	395.9	6.22	259.8	2.2
23.	7/8	75.5	25 080	332.2			
24.	»	75.1	25 060	333.7			
26.	»	69.4	25 230	363.5			
27.	»	77.9	26 490	340.0			
	59 vrk.	74.5	25 465	341.8	456.6	16 884	139.0
	Keskim. päivässä	1.263	431.6	341.8	7.74	286.2	2.3
	29 vrk.	66.6	22 337	335.4	270.1	9 090	71.6
	Keskim. päivässä	2.297	770.2	335.4	9.31	313.4	2.5
28.	29/8	127.3	40 345	316.9			
29.	»	136.6	41 765	305.7			
30.	»	140.7	43 635	310.1			
31.	»	135.7	40 655	299.6			
	81 vrk.	135.1	41 600	307.9	593.6	20 283	171.6
	Keskim. päivässä	1.668	513.6	307.9	7.33	250.4	2.1
	22 vrk.	60.6	16 135	266.2	137.1	3 399	32.6
	Keskim. päivässä	2.755	733.4	266.2	6.23	154.5	1.5
32.	26/10	229.0	61 730	269.6			
33.	»	212.0	59 240	279.4			
34.	»	223.7	59 860	267.6			
36.	»	229.2	61 880	270.0			
	139 vrk.	223.5	60 678	271.5	780.3	25 613	225.5
	Keskim. päivässä	1.608	436.5	271.5	5.61	184.2	1.6
	58 vrk.	88.4	19 078	215.8	186.7	5 330	53.9
	Keskim. päivässä	1.524	328.9	215.8	3.22	91.9	0.9

Taulukko 29.

Kolmas kylvö 13/6 (nousivat oraalle 21/6).

	Astian n:o	Korjuu-päivä	Kuiva-ainesato g	Veden kulutus ccm	Haihdu-tuskerroin	Lämpötila-summat t—6°	Kaloriasummat 1 cm²:lle vaakasuoraa pintaa	t—t'
38.	.....	20/7	11.44	5 605	489.9			
39.	.....	»	13.56	6 225	459.1			
40.	.....	»	14.00	6 235	445.4			
41.	.....	»	13.78	6 135	445.2			
		29 vrk.	13.20	6 050	458.3	242.3	10 113	77.5
	Keskim.	päivässä	0.455	208.6	458.3	8.36	348.7	2.7
42.	.....	22/8	73.2	24 685	337.2			
43.	.....	»	79.2	25 875	326.7			
44.	.....	»	71.4	24 095	337.4			
45.	.....	»	81.9	25 705	313.8			
		62 vrk.	76.4	25 090	328.4	474.7	16 676	138.2
	Keskim.	päivässä	1.232	404.7	328.4	7.66	269.0	2.2
		33 vrk.	63.2	19 040	301.3	332.4	6 563	60.6
	Keskim.	päivässä	1.915	577.0	301.3	7.04	198.9	1.8
46.	.....	11/9	110.8	34 415	310.6			
47.	.....	»	114.4	38 425	335.8			
48.	.....	»	125.3	36 865	294.2			
49.	.....	»	128.0	38 965	304.4			
		82 vrk.	119.6	37 168	310.8	596.1	19 537	163.4
	Keskim.	päivässä	1.459	453.3	310.8	7.27	238.2	2.0
		20 vrk.	43.2	12 078	279.6	121.4	2 861	25.2
	Keskim.	päivässä	2.160	603.9	279.6	6.07	143.1	1.3
50.	.....	26/10	168.9	47 435	280.8			
51.	.....	»	159.8	45 475	284.6			
52.	.....	»	157.5	44 395	281.8			
53.	.....	»	151.4	45 065	297.7			
		127 vrk.	159.4	45 593	286.0	714.7	23 445	202.5
	Keskim.	päivässä	1.255	359.0	286.0	5.63	184.6	1.6
		45 vrk.	39.8	8 425	211.9	118.6	3 908	39.1
	Keskim.	päivässä	0.884	187.2	211.9	2.64	86.8	0.9

Taulukko 30.

t—t′:n ja lämpötilojen keskiarvot 24 tunnilta v. 1923.

Päivä	Toukokuu		Kesäkuu		Heinäkuu		Elokuu		Syyskuu		Lokakuu	
	t—t′	Keski-lämpö-tila	t—t′	Keski-lämpö-tila	t—t′	Keski-lämpö-tila	t—t′	Keski-lämpö-tila	t—t′	Keski-lämpö-tila	t—t′	Keski-lämpö-tila
1			0.7	6.9	2.3	11.8	1.3	15.1	0.9	12.9	1.2	6.6
2			3.3	7.6	2.4	12.6	1.4	14.7	1.1	12.7	0.6	10.3
3			2.8	6.2	3.9	15.9	2.6	12.9	0.7	11.3	0.6	6.9
4			2.2	6.4	3.8	17.8	1.3	11.9	0.9	9.8	0.6	7.4
5			1.4	4.0	2.0	16.0	3.0	12.8	1.1	8.9	0.9	7.8
6			1.1	4.3	2.4	17.7	2.8	13.7	1.1	9.9	0.7	6.5
7			2.4	7.0	5.3	19.4	1.0	12.1	1.3	9.0	1.1	4.1
8			3.1	8.3	2.5	14.9	1.5	12.2	0.7	10.0	0.2	5.7
9			0.5	8.3	3.6	15.6	3.2	13.7	2.1	9.1	0.8	6.4
10			3.3	12.3	3.7	15.7	0.5	13.7	1.4	12.1	0.7	8.2
11			1.4	10.4	3.2	18.6	1.3	13.9	1.8	9.7	0.6	6.6
12			0.8	10.3	4.6	20.8	1.5	10.7	0.4	9.9	0.6	5.3
13			1.9	9.4	2.7	20.4	2.7	9.8	1.9	11.2	1.1	6.7
14			1.4	8.9	3.1	18.4	1.6	11.9	2.1	8.1	1.0	8.8
15			1.0	11.1	3.6	15.5	0.6	12.5	1.6	10.4	1.1	7.5
16	1.3	6.1	1.2	8.7	3.1	14.0	0.3	11.0	1.1	13.1	0.5	3.8
17	1.5	7.3	2.4	11.1	2.9	15.9	1.1	10.9	1.1	12.5	0.8	5.9
18	2.2	8.6	3.5	15.1	0.6	15.3	1.4	10.9	0.4	8.9	0.7	4.4
19	2.9	10.0	3.9	16.6	2.1	17.2	1.4	8.4	1.4	12.1	0.2	1.0
20	2.8	9.0	1.6	15.5	2.0	14.8	1.9	11.0	0.3	10.9	0.7	4.7
21	2.3	9.2	1.0	12.5	1.7	14.8	2.2	11.0	0.7	10.3	0.6	7.8
22	3.3	10.7	1.3	10.2	3.2	14.6	1.8	10.4	1.1	11.1	0.6	8.2
23	2.3	8.9	2.1	10.1	1.7	13.4	1.3	13.7	0.8	10.2	1.3	8.6
24	1.5	7.0	2.8	10.9	1.1	14.8	1.8	12.8	1.0	11.8	0.4	9.3
25	2.7	9.5	2.3	8.4	2.4	14.2	2.0	14.9	0.6	10.6	0.6	7.6
26	2.8	9.0	2.1	10.2	1.6	12.8	1.4	14.4	1.5	13.1		
27	1.9	13.0	2.4	10.8	2.0	14.3	1.3	13.7	0.4	11.2		
28	2.7	9.3	1.3	9.6	3.7	16.5	0.8	15.4	0.4	10.7		
29	2.2	6.7	2.2	10.4	3.3	16.2	1.0	13.4	1.3	8.6		
30	2.0	6.3	2.3	11.7	2.1	14.3	1.2	13.8	1.2	6.2		
31	3.1	6.4			1.2	14.9	1.4	13.3				

Toinen sarja kylvettiin 30/5 ja orastui 9/6. Neljä kertausastiaa korjattiin aina yhtäaikaa ja samoilla kehitysvaiheilla kuin 1916. Korjuupäivät olivat 9/7, 7/8, 29/8 ja 26/10. Kasvukauden sääsuhteet olivat tällä sarjalla edullisimmat, jonka vuoksi sadotkin ovat suurimmat. Kuitenkin oli syksy niin kolea, ettei kaura tahtonut tuleentua, joten viimeinen kasvujakso venyi hyvin pitkäksi.

Kolmannen sarjan kylvö suoritettiin 13/6, tuli taimelle 21/6. Korjuu suoritettiin samoin kuin edellisessäkin sarjassa neljässä eri

osassa. Korjuupäivät olivat 20/7, 22/8, 11/9 ja 26/10. Kaksi ensimmäistä kasvujaksoa sattui kesän lämpimimpään osaan, ja ovatkin ne senvuoksi lyhyitä. Viimeistä kasvujaksoa haittasi syksyn koleus vielä enemmän kuin edellisessä sarjassa.

Taulukoissa 27—29 on esitetty eri koeastioiden sadot ja vedenkulutukset ja näistä lasketut haihdutuskertoimet sekä tehoisan lämpötilan (t—6°), kuivan ja kostean lämpömittarin lämpötilaerojen ja kaloriain summat eri kasvujaksoina. Haihtuminen astioiden pinnasta on laskettu samalla tavalla täytettyjen ja kasteltujen kylvämättömien astioiden haihdutuksen mukaan ja vähennetty vedenkulutuksesta. Kaloriasummat on laskettu 1 cm^2:lle vaakasuoraa pintaa.

Vertailun helpoittamiseksi on alla olevaan taulukkoon 31 yhdistetty taulukosta 30 päivittäiset keskilämpötilat ja taulukoista 27—29 kaloriamäärät, t—t′-keskiarvot, päivittäiset sadonlisäykset sekä haihdutuskertointen ja kuiva-ainesatojen keskiarvot eri kasvujaksoina.

Taulukko 31.

Astiakokeet 1923.

Sarja	Kasvujakso	Keskilämpötila C°	Kaloriamäärät	t—t′ keskiarvo	Lisäkasvu vuorokaudessa	Sadonlisäys kasvujaksona	Haihdutuskerroin
I	I	11.3	231	2.1	0.10	3.88	343
	II + III	15.4	327	2.6	2.23	80.3	329
	IV	12.0	135	1.2	2.21	106.2	260
II	I	12.2	260	2.3	0.26	7.90	396
	II	15.3	313	2.5	2.30	66.6	335
	III	12.2	155	1.5	2.76	60.6	266
	IV	9.0	92	0.9	1.52	88.4	216
III	I	14.4	349	2.7	0.46	13.2	458
	II	13.0	199	1.8	1.92	63.2	301
	III	12.1	143	1.3	2.16	43.2	280
	IV	8.4	87	0.9	0.88	39.8	212

Sadonlisäys päivää kohti on ensimmäisenä kasvujaksona pienin ja saavuttaa kolmantena jaksona maksiminsa. Haihdutuskertoin taas pienenee alusta loppuun asti. Niin kauan kuin lisäkasvu suurenee, on haihdutuskertoimen pieneneminen luonnollista, mutta se, että haihdutuskertoin neljäntenä kasvujaksona on pienempi kuin kolmantena johtunee siitä, että kauran kasvukauden loppuosa on sääsuhteiltaan aivan erilainen. Tällöin on lämpötila hyvin alhainen,

samoin t—t'. Myöskin kaloriamäärä on paljon pienempi kuin edellisenä kasvujaksona.

Ensimmäisessä sarjassa on toisen korjuun sadonlisäys päivää kohti laskettuna ensimmäisen korjuun päivittäiseen sadonlisäykseen verrattuna 21-kertainen. Siitä huolimatta ei haihdutuskertoin ole paljon alentunut. Lämpötila, kaloriamäärä ja t—t' ovatkin ensimmäisenä jaksona paljon alhaisemmat kuin toisena ja kolmantena.

Toisessa sarjassa on säätekijöiden muutos ensimmäisestä kasvujaksosta toiseen paljon pienempi kuin edellisessä. Senvuoksi määräänkin runsaampi lisäkasvu toisena jaksona haihdutuskertoimen pienemmäksi kuin ensimmäisenä. Kasvukauden loppupuolella muuttuvat sääsuhteet siten, että ne jyrkästi pienentävät haihdutuskertointa.

Kolmannessa sarjassa on haihdutuskertoimen pieneneminen aluksi hyvin huomattava ollen toisena kasvujaksona vain $^2/_3$ ensimmäisen jakson haihdutuskertoimesta. Tässä kohden vaikuttavat haihdutuskertoimen luonnollinen kulku ja säätekijät samaan suuntaan. Muuten on kulku samansuuntainen kuin edellisessä sarjassa.

Jos sitten siirrytään vertailemaan eri sarjojen vastaavia kasvujaksoja toisiinsa, on heti ensimmäisen jakson haihdutuskertoimissa huomattavissa säätekijöiden selvä vaikutus. Huolimatta siitä, että lisäkasvu ensimmäisessä sarjassa on pienin ja kolmannessa suurin, on myöskin haihdutuskertoin ensimmäisessä pienin ja kolmannessa suurin. Kaloriamäärän pienuuden ja lämpötilan alhaisuuden johdosta on ensimmäisen sarjan ensimmäisenä jaksona yhteyttämisnopeus vähäinen. Mutta myöskin haihdutusenergia ja t—t' ovat pienet, jonka vuoksi haihdutuskertoin jää alhaiseksi. Toisessa sarjassa tekevät korkeampi lämpötila ja runsaampi säteilyenergia lisäkasvun vilkastumisen mahdolliseksi, mutta kun samalla t—t' suurenee, tulee haihdutuskertoinkin suuremmaksi. Kolmannen sarjan ensimmäisenä kasvujaksona on koko kesän korkein kaloriamäärä ja t—t'. Lämpötilakin on korkeampi kuin edellisissä sarjoissa. Tällöin on, huolimatta sangen vilkkaasta yhteyttämisestä, haihdutuskertoin korkein.

Toisenakin kasvujaksona on vielä huomattavissa samanlainen riippuvaisuus säätekijöistä, mutta ovat kasvit toisessa sarjassa kyenneet käyttämään enemmän energiaa yhteyttämiseen, joten

haihdutuskertointen ero ei ole niin huomattava kuin se t—t′:n erilaisuuden perusteella voisi olla.

Kolmantena kasvujaksona on jo kasvien yhteyttäminen ollut niin vilkasta, että huolimatta korkeammasta lämpötilasta ja suuremmasta t—t′:sta haihdutuskertoin toisessa sarjassa, jossa kaloriamäärä on korkeampi, on pienempi kuin kolmannessa.

Neljäntenä jaksona on yhteyttämisnopeus pienempi, ja pienenee tällöin haihdutuskertoin lämpötilan, t—t′:n ja kaloriamäärän aletessa.

Koko kasvukautena olivat sadot, haihdutuskertoimet ja keskimääräiset päivittäiset säätekijät seuraavat:

Taulukko 32.

	Lämpötila.	Kaloriasumma	t—t′	Kuiva-ainesato	Haihdutuskertoin	Vrk.
I sarja	12.03	217.5	1.8	190.4	291.2	122
II »	11.54	184.2	1.6	223.9	271.5	139
III »	11.55	184.6	1.6	159.4	286.0	128

Vaikka eri sarjojen kasvukaudet olivat hyvin erilaiset, ei lopullisissa haihdutuskertoimissa ole vastaavia eroja syystä, että säätekijät eri kasvujaksoina vaikuttivat vastakkaisiin suuntiin. Ensimmäisen sarjan ensimmäisen ja toisen sadon haihdutuskertoimet ovat pienet; mutta neljännen kasvujakson suuri vedenkäyttö kohottaa tämän sarjan haihdutuskertoimen suurimmaksi. Toisessa sarjassa sattuu suurin kaloriamäärä ja t—t′ sekä korkein lämpötila niiksi jaksoiksi, joina energiankäyttökyky kasveilla on suurin, tämä sekä neljännen jakson pieni vedenkäyttö vaikuttaa, että haihdutuskertoin tässä sarjassa on pienin. Kolmannessa sarjassa on ensimmäisenä kasvujaksona vedenkäyttö niin runsas, että lopullinen haihdutuskertoin, huolimatta muiden jaksojen aihaisista haihdutuskertoimista, nousee korkeammaksi kuin toisessa sarjassa.

V. Säteilyenergia ja vesi kasvutekijöinä.

Kun haihdutuskertoimen suuruus erikoisesti vaikuttaa säteilyenergian ja veden hyväksikäyttöön (vert. siv. 7—9), esitämme laskelman, miten paljon energiaa ja vettä kasvit kasvukautensa aikana voivat saada, ja kuinka suuriin satoihin nämä riittäisivät, ja vertailemme tällä perusteella toisiinsa säteilyenergiaa ja vettä kasvutekijöinä.

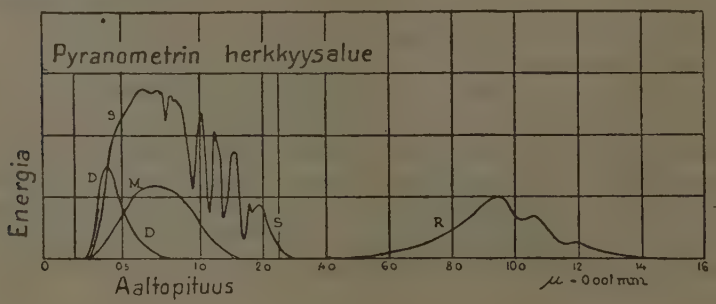
Ilmakehän rajalle saapuvan auringonsäteilyn intensiteti on uusimpien tutkimusten mukaan keskimäärin 1.93 grammakaloriaa minuutissa 1 neliösenttimetrille säteilyä vastaan kohtisuoralle pinnalle laskettuna. Tämä n. s. solarikonstantti vaihtelee ainoastaan vähäisen auringon pilkkujen luvun ja auringon ja maan keskinäisen etäisyyden vaihdellessa. Osa tästä säteilystä läpäisee, milloin ei pilvikerros sitä estä, ilmakehän, ja voidaan mitata suoranaisena auringonsäteilynä. Toinen osa pääsee vasta monenkertaisen heijastumisen jälkeen maan pinnalle n. s. hajasäteilynä. Tämä aiheuttaa sen, että pilvisetkin päivät ovat valoisia. Suoranainen säteily ja hajasäteily muodostavat tulopuolen maapallon energiataloudessa. Osa solarikonstantin osoittamasta säteilymäärästä menee maapallolta kokonaan hukkaan heijastuen ja säteillen ilmakehästä avaruuteen. Osa pidättyy ilmakehään kohottaen sen lämpötilaa. Tämä osa tulee hyödyksi maapallon energiataloudelle säteilemällä myöskin maanpinnalle ja alentamalla siten maan lämmön menetystä ulossäteilyllä.

Maanpinnalle tulleesta säteilystä heijastuu osa takaisin ilmaan, josta osa jälleen heijastuu takaisin maanpintaan ja tulee mitatuksi hajasäteilyn yhteydessä. Maan pinnasta heijastuneen säteilyn määrä on riippuvainen pinnan laadusta ja väristä. Musta, kostea pelto pidättää n. 90 % tulosäteilystä. Kasvipeitteen heijastaman säteilyenergiamäärän on Ångström (Geiger 1927, p. 115) mitannut 18—33 prosentiksi kokonaissäteilystä. Puhdas lumi heijastaa jopa 80 % tulosäteilystä. Geiger (1927, p. 8) on arvioinut heijastumisen vuoksi maapallolta hukkaan menevän energian yleisesti 10 prosentiksi tulosäteilystä. Toinen osa tulosäteilystä tarvitaan korvaamaan ulossäteilystä ja ilmavirtauksista johtuvia lämpöhäviöitä. Ulossäteilyn voimakkuus riippuu niiden

esineiden lämpötilaerosta, joiden välillä säteily tapahtuu. Jos ei maapallon ympärillä olisi ilmakehää, olisi 15° C lämpöisen maanpinnan ulossäteilyn intensiteti n. 0.55 grammakaloriaa neliösenttimetriltä. Nyt vaikuttaa kuitenkin ilmakehä niin, että kirkkainakin öinä ulossäteilyn intensiteti nousee vain n. 0.18 kaloriaan cm^2:ltä. Kun talvella maan jäähtyessä ilmakin jäähtyy, pysyy ulossäteilyn intensiteti kirkkaalla taivaalla suunnilleen samana. Pilvisyys vaikuttaa alentavasti ulossäteilyyn heijastamalla ja säteilemällä alapin naltaan ulossäteilyenergian suureksi osaksi takaisin, vaikkakaan se ei sitä koskaan kokonaan ehkäise. Mitä alempana pilvet ovat, sitä lämpimämpiä ne ovat ja sitä enemmän ne alentavat ulossäteilyä, samoin vaikuttaa pilvien vahvuus. Ilmavirtausten vaikutus on joko positiivinen tai negatiivinen. Jos ilma on lämpimämpää kuin ne esineet, joita se koskettaa, tuovat ilmavirtaukset lämpöä, jos taas esineiden lämpötila on korkeampi, ottavat ilmavirtaukset lämpöenergiaa.

Muu osa säteilyenergiasta jää veden haihduttamiseen, maan lämmittämiseen ja kasvien yhteyttämiseen. Mitä kasvien veden haihduttamiseen tulee, voivat kaikki aaltopituudet muuttua siihen tarvittavaksi lämpöenergiaksi, kun sitävastoin yhteyttämisessä tulee kysymykseen pääasiassa vain kaksi aluetta, toinen n. 650 ja 700 $\mu\mu$ välillä, toinen 480 $\mu\mu$ seudulla. Haihdutukseen kuluva energia on suuruutensa puolesta määräävänä tekijänä kasvien energiataloudessa. Mitä voimakkaammin kasvit yhteyttävät ja haihduttavat, sitä alhaisemmaksi jää niiden lämpötila, mikä taas vaikuttaa ulossäteilyn suuruuteen ja siihen, onko ilmavirtausten kuljettamat energiamäärät laskettava kasvien energiatalouden tulovai menopuolelle.

Seuraava piirros esittää suoranaisen auringonsäteilyn (S), kirkkaan (D) ja pilvisen (M) taivaan hajasäteilyn ja ulossäteilyn (R) sisältämien aaltopituuksien suhteellisia energiamääriä ÅNGSTRÖMin mukaan.



Eri säteilyt eroavat siis laadultaan huomattavasti toisistaan. Suoranaisen auringonsäteilyn energiasta on suurin osa näkymätöntä lämpösäteilyä. Käyrän maksimi sattuu kyllä spektrin keltaiseen osaan, ja sisältää se runsaasti myös violettisäteitä ja ultravioletti-säteitäkin. Hajasäteily kirkkaalta taivaalta ei sisällä näkymättömiä lämpösäteitä. Sen maksimi on 400 $\mu\mu$:n vaiheilla, siis spektrin violettiosissa. Ultravioletisäteitä siinä on runsaammin kuin suoranaisessa auringonsäteilyssä. Pilvisen taivaan säteily poikkeaa huomattavasti kirkkaan taivaan hajasäteilystä. Sen energiamäärä jakaantuu paljon laajemmalle alueelle spektrissä alkaen ultravioletisäteistä, joita siinä on vähän, saavuttaen maksimin n. 700 $\mu\mu$:n kohdalla, ja sisältää vielä suuren määrän punaista lämpösäteilyäkin aina n. 1 550 $\mu\mu$:hyn asti. Ulossäteily on kokoonpanoltaan ainoastaan pitkäaaltoista lämpösäteilyä, 4 μ:stä alkaen, saavuttaen maksimin 9 ja 10 μ:n välillä ja ulottuen 15 μ:n seudulle.

Ångström (1924, p. 1—23) on laskenut suoranaisen auringonsäteilyn, hajasäteilyn, heijastuneen ja ulossäteilyn keskimääräisen vuotuisen kulun Tukholmassa sekä Blomån ja Laganin vesialueilta haihtuneiden vesimäärien höyrystymiseen tarvittavat energiamäärät. Tulokset (g kal./cm^2) olemme esittäneet taulukossa 33.

Taulukko 33.

	Tulopuoli			Menopuoli				Eroitus
	Suoranainen auringonsäteily	Hajasäteily	Yhteensä	Ulossäteily	Heijastunut	Veden haihduttaminen	Yhteensä	
Tammikuu	180	670	850	3 570	420	420	4 410	— 3 560
Helmikuu	787	1 723	2 510	3 600	1 210	480	5 290	— 2 780
Maaliskuu	2 640	1 870	4 510	3 900	2 030	900	6 830	— 2 320
Huhtikuu	5 600	3 250	8 850	4 320	1 250	1 680	7 250	1 600
Toukokuu	9 420	3 035	12 455	4 950	—	2 820	7 770	4 685
Kesäkuu	9 350	2 820	12 170	4 900	—	4 020	8 920	3 250
Heinäkuu	8 520	3 040	11 560	4 470	—	4 380	8 850	2 710
Elokuu	5 900	3 250	9 150	4 050	—	3 660	7 710	1 440
Syyskuu	3 640	2 750	6 390	4 110	—	2 400	6 510	— 120
Lokakuu	1 166	1 800	2 970	3 510	120	1 380	5 010	— 2 040
Marraskuu	226	1 000	1 230	3 420	200	780	4 400	— 3 170
Joulukuu	47	690	740	2 940	270	480	3 690	— 2 950
Vuosi	47 476	25 898	73 385	47 740	5 500	23 400	76 640	— 3 255

Meret toimivat lämpösäiliöinä, jotka talven aikana luovuttavat ilmaan paljon lämpöä. Tämä johtuu vähäisestä ulossäteilystä. Niinpä saa ilma Itämeren yläpuolella syksyn ja talven aikana Sü-ringin (1927, p. 29) mukaan 1 cm^2:ltä vesipintaa 52 kilokaloriaa.

Taulukon 33 johdosta on huomautettava, että siitä on kokonaan jätetty pois kesäkuukausina heijastumisesta johtuva energiatappio, jonka suhteellisesta pienuudestaan huolimatta runsaan tulosäteilyn vuoksi täytyy absolutiselta määrältään olla paljon suurempi kuin loka—tammikuulla. Myös puuttuu lumen sulamiseen menevä energia. Sensijaan ovat ulossäteilyluvut platinamustan säteilynä maksimiarvoja. Jos laskemme heijastumalla hukkaan menevän energiamäärän esim. 10 prosentiksi tulosäteilystä ja lumen ja roudan [1]) sulattamiseen kuluvan 2 kilokaloriaa, saamme menopuolen 10.4 kilokaloriaa suuremmaksi kuin tulosäteilyn. Tämä vajaus täytyy ilmavirtausten korvata.

Keränen (1929, p. 93—95) on selostuksessaan Vihdin ilmastosta esittänyt tulosäteilyn vuotuisena kokonaissummana Vihdin seudulla 74.2 kilokaloriaa cm^2:lle ja energiahäviönä ulossäteilyn, veden haihtumisen heijastumisen ja lumen sulamisen johdosta yhteensä 76.4 kilokaloriaa cm^2:lta. Tästäkin laskelmasta on kuitenkin jätetty pois kesäkuukausina heijastumalla hukkaan menevä osa energiasta.

Ångström (1928, p. 21) on julkaissut uuden laskelman suoranaisen ja hajasäteilyn energiasummista vv. 1905—1926. Kuukausisummien keskiarvot ja hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä ovat seuraavassa taulukossa keskiarvot vuosilta 1905—1926.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Kokonaissäteily .	0.87	2.20	5.48	8.69	12.45	13.28	12.20	9.38	6.44	3.15	1.43	0.64	76.19
Suoranainen	0.32	0.98	3.14	6.35	9.53	10.05	9.83	6.90	4.27	1.50	0.34	0.09	53.27
Hajasäteily	0.54	1.23	2.34	2.34	2.92	3.23	2.38	2.48	2.18	1.65	1.10	0.55	22.91
Hajasäteily % kokonaissäteilystä	63	56	43	27	23	24	19	26	34	52	77	87	30

Myöskin Suomessa on jo vuodesta 1922 lähtien Lunelundin johdolla suoritettu säteilymittauksia, ja varsinkin suoranaisen auringonsäteilyn mittaussarjat ovat niin pitkiä, että tuloksia voidaan

[1]) Esitettäköön tässä Luboslawskyn mittaustensa perusteella tekemä laskelma (Keränen, 1929 a, p. 253) lumen lämmittämiseen, lumen ja roudan sulamiseen sekä maan lämmittämiseen keväällä kuluvista energiamääristä.

Lumipeitteen lämmittämiseen	20	kal/cm^2
Lumen sulattamiseen	1 184	»
Roudan sulattamiseen	936	»
Maan lämmittämiseen	456	»
Yhteensä	2 596	kal/cm^2

Mittaukset on tehty hiekkamaalla. Lumipeitteen vahvuus oli 60.7 cm ja tiheys 0.244, roudan paksuus 38 cm, maan vesipitoisuus 30.8 volymiprosenttia sekä lopullinen lämpötila n. 10°.

pitää luotettavina. Seuraavassa taulukossa esitämme LUNELUNDin (1928, p. 94) mittaustensa ja Helsingissä ja Ilmalassa suoritetun päivänpaisteen rekisteröinnin perusteella laskemat (»lask.») suoranaisen auringonsäteilyn kuukausisummat sekä saman tekijän osaksi omiin tutkimuksiinsa, osaksi ÅNGSTRÖMin mittauksiin perustuen esittämät hajasäteilyn ja kokonaissäteilyn kuukausimäärät, kaikki kg kal/cm². Vuosina 1927 ja 1928 suorittamansa suoranaisen auringonsäteilyn rekisteröinnin jälkeen on LUNELUND (1929 p. 25) esittänyt uuden, keskimääräisen lukusarjan suoranaiselle auringonsäteilylle vv. 1916—1925 Ilmalan leija-asemalla. Nämä ovat taulukossa otsakkeen »norm.» alla.

	Suoranainen auringonsäteily		Hajasäteily	Kokonais-säteily
	norm.	lask.		
Tammikuu	0.15	0.14	0.63	0.77
Helmikuu	0.56	0.61	1.63	2.24
Maaliskuu	2.89	2.26	2.15	4.41
Huhtikuu	3.83	4.39	3.34	7.73
Toukokuu	7.52	8.70	3.43	12.13
Kesäkuu	7.75	8.76	3.24	12.00
Heinäkuu	9.02	10.30	2.46	12.76
Elokuu	5.23	6.68	2.87	9.55
Syyskuu	2.94	3.07	2.94	6.01
Lokakuu	1.37	1.12	1.80	2.92
Marraskuu	0.24	0.23	0.93	1.16
Joulukuu	0.04	0.04	0.62	0.66
Vuosi	41.52	46.30	26.04	72.34

Suoranaisen auringonsäteilyn vuotuinen vaihtelu on hyvin suuri. Minimi sillä on joulukuussa, jolloin päivät ovat lyhimmät ja auringon korkeus pienin. Tästä se kasvaa säännöllisesti saavuttaen heinäkuussa maksimin, aleten sitten säännöllisesti minimiä kohti. — Hajasäteily voittaa aikana loka—helmikuu suoranaisen auringonsäteilyn. Sen nousu minimistä tammikuussa on paljon loivempi ja saavuttaa huhtikuussa arvon, jossa se pysyy vähäisin muutoksin syyskuuhun asti. Suoranainen auringonsäteily muodostaa kokonaissäteilystä 65 %, hajasäteily 35 %.

Ulossäteilyllä on minimi joulukuussa, jolloin pilvisyys on suurin. Maksimi sillä on toukokuussa, lähes 5 kilokaloriaa cm²:lle. — Säteilystä heijastuu eniten kesäkuukausina, jolloin tulosäteily on suurin. Myöskin maaliskuussa maan ollessa lumen peitossa, on heijastuminen huomattava, kun se sensijaan lokakuussa on varsin vähäinen. Kun tulosäteilyn kokonaismäärästä vähennetään ulossäteilyn heijastuksen ja veden haihtumisen vuoksi syntyneen menetyksen yhteismäärä, saadaan syys—maaliskuussa negatiivinen jäännös, joka

merkitsee sitä, että tänä aikana maanpinta ja ilma jäähtyvät. Huhtikuussa alkaa lumi ja routa sulaa ja maa ja ilma lämmitä.

Olemme (taulukko 34) tehneet laskelmia kesäkuukausina vuosilta 1911—1923 ja käyttäneet niiden perusteena seuraavia lukusarjoja.

Suoranaisen auringonsäteilyn energiamäärät on laskettu Ilmalan leija-aseman autografihavaintojen ja v. 1923 Maanviljelystaloudellisella koelaitoksella suorittamiemme säteilyintensitetimittausten perusteella. Eri kuukausina on kutakin vuorokauden tuntia kohti erikseen laskettu keskimääräinen säteilyintensiteti tunnissa 1 cm^2:lle vaakasuoraa pintaa. Niinikään on aurinkoautografin polttojälkien mukaan päiväpaisteen aika laskettu kuukausittain eri vuorokauden tunneille. Nämä tuntisummat on sitten kerrottu vastaavalla keskimääräisellä intensitetillä ja niistä laskettu koko kuukauden säteilyenergiamäärä. Nämä laskelmat perustuvat siis ainoastaan vuoden 1923 säteilyintensitetimittauksiin. Tämä ei kuitenkaan suuresti vaikuttane tulokseen, koska säteilyn intensitetin vaihtelu vuodesta vuoteen on verrattain vähäinen. Sensijaan on meidän huomautettava, että eri paikkakunnilla on pilvisyys sekä ilman kosteus hyvin erilainen, jonka vuoksi ei Ilmalan havaintoihin perustuvia laskelmia voida pitää koko maatamme edustavina.

Hajasäteilystä ei Suomessa ole tehty pitempiaikaisia mittaussarjoja. Olemme kuitenkin katsoneet voivamme käyttää laskelmissamme Lunelundin (1926, p. 8—13, 1927, p. 14—18 ja 1928, p. 94) lyhyempiaikaisten havaintojensa perusteella esittämiä hajasäteilyn kuukausisummia, koska ne käyvät verrattain hyvin yhteen Ångströmin Tukholmasta esittämien lukujen kanssa.

Ilmavirtausten kuljettamia lämpöenergiamääriä on vaikeata arvioida, jonka vuoksi ne on jätetty sekä energialaskelman tulo- että menopuolella huomioonottamatta. Saadaksemme jonkunlaisen käsityksen siitä, kuinka suuria energiamääriä täten voi kulkeutua paikkakunnalta toiselle, esitämme Simpsonin (Bartels 1929, p. 585) laskelmien perustalla saamamme arvot. Hänen mukaansa kulkee 60:nnen leveysasteen jokaisen senttimetrin yli pohjoista kohti keskim. $1.56 \cdot 10^7$ g kal. minuutissa ja 70:nnen leveysasteen yli samaten $1.23 \cdot 10^7$ g kal./min., joten näiden leveysasteiden välille (1 110 km pituiselle ja 1 cm levyiselle alueelle) jää $0.33 \cdot 10^7$ g kal./min., mikä vastaa 1.2 kg kal./cm^2 30-päiväistä kuukautta kohti. Meillä tämä luku voi Golf-virran läheisyyden vuoksi kohota vielä suuremmaksikin varsinkin talvikuukausina. Kesäpuolella lienee ilmavirtausten vaikutus tässä suhteessa verraten vähäinen.

Ulossäteilyä kään ei ole Suomessa tutkittu niin paljon, että nämä tutkimukset voitaisiin ottaa laskelmien perustaksi. Kuitenkin osoittavat Homenin (1897, p. 138) ja Johanssonin johdolla

suoritetut ulossäteilymittaukset, että ulossäteilyn voimakkuus etelä-Suomessa on lähimain saman suuruinen kuin Tukholmassa. Sen vuoksi olemme käyttäneet samoja arvoja kuin ÅNGSTRÖMkin laskelmissaan. Nämä tosin ovat platinamustan ulossäteilyarvoja ja sellaisina jonkun verran liian suuria. Kuitenkin vaikuttavat kasvit säteilevää pintaa suurentavasti, jonka vuoksi ei kasvipeitteen ulossäteily huomattavasti poikenne käyttämistämme arvoista (SÜRING, 1927, p. 122).

K a s v e i s t a h e i j a s t u n e e n s ä t e i l y n määräksi on LUNELUND (1927, p. 32—35) saanut kaurapellossa keskim. 20.4 %, heinäpellossa 21.6 % kokonaissäteilystä. ÅNGSTRÖMin (GEIGER 1927, p. 115) mukaan heijasti kuiva kanerva 18 %, matala ruoho 25 % ja korkea, kirkkaanvärinen ruoho kuivana 31—33 %, kosteana 22 % tulosäteilystä. Olemme käyttäneet laskelmassamme toukokuulle 12 %, kesä- ja heinäkuulle 18 %, elokuulle 15 % ja syyskuulle 12 % kokonaissäteilystä. Toukokuussa on osa maanpinnasta vielä paljaana, elokuussa on kasvipeite jo kosteampaa ja syyskuussa on osa maastakin jo taas paljaana.

K a s v i e n k ä y t e t t ä v ä k s i jää täten keskimäärin toukokuulla 5.68, kesäkuulla 4.21, heinäkuulla 5.93, elokuulla 3.81 ja syyskuulla 2.07 sekä jaksona touko—syyskuu 21.70 kilokaloriaa neliösenttimetrille. Tällä energiamäärällä, joka vastaa 2 170 milj. kilokaloriaa hehtaaria kohti, voitaisiin saada 300 suuruisella haihdutuskertoimella 11 740 kilon kuiva-ainesato hehtaarilta. Huomattava on kuitenkin, että ainoastaan metsä ja laidun voivat käyttää energiaa hyväkseen koko tuona aikana. Syysvilja yhteyttää ainoastaan touko—heinäkuussa, kevätvilja suunnilleen toukokuun puolivälistä elokuun loppuun ja juurikasvit kesäkuun alusta syyskuun loppuun.

Taulukko 34.

Säteilynettoenergiamäärät Ilmalassa vv. 1911—1923.

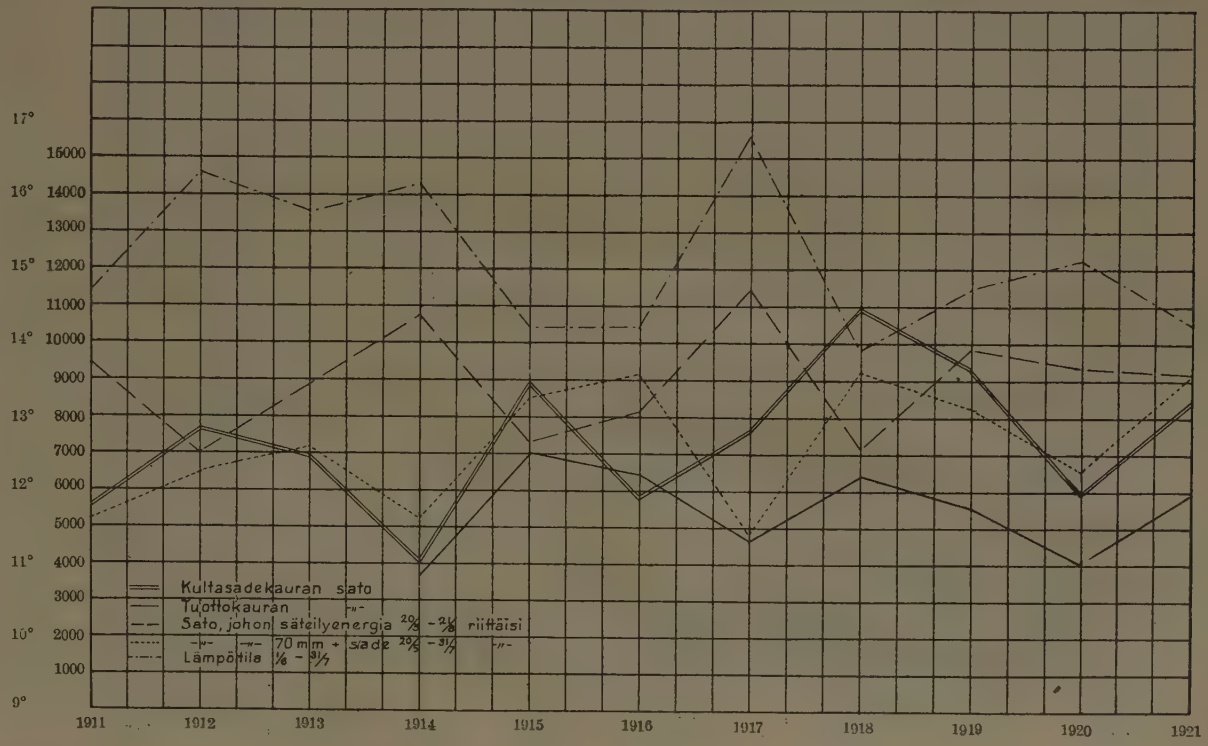
Vuosi	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Touko—syysk.
1911	6.73	4.80	5.16	5.03	0.87	22.59
1912	2.13	2.31	6.88	2.40	—0.36	13.36
1913	5.64	4.30	5.81	4.08	3.92	23.75
1914	5.73	5.45	7.91	3.33	1.50	23.92
1915	4.06	3.91	4.86	2.84	1.27	16.94
1916	4.98	3.77	6.35	2.32	2.90	20.32
1917	7.27	6.32	6.23	5.72	2.50	28.04
1918	7.87	2.77	4.71	2.61	2.29	20.25
1919	5.19	4.03	7.05	4.94	3.11	24.32
1920	6.15	5.72	5.48	3.10	2.30	22.75
1921	7.78	4.42	3.78	6.64	2.32	24.94
1922	5.33	3.98	5.30	3.09	1.80	19.50
1923	4.96	3.14	7.51	3.47	2.51	21.59
1911—1923	5.68	4.21	5.93	3.81	2.07	21.70

Kuten laskelmasta siv. 8 näkyy, käyttävät kasvit yli 95 prosenttia energiasta veden haihduttamiseen. Yhteyttämiseen y. m. kuluva energiamäärä jää siis laskelmiemme virherajojen sisäpuolelle, joten voimme jättää tämän osan huomioonottamatta arvostellessamme, kumpi säätekijöistä, sade vaiko säteilyenergia on suhteellisesti epäedullisempi. Taulukossa 35 olemme asettaneet rinnakkain eri kuukausien sademäärät Ilmalassa ja ne vesimäärät, joiden haihduttamiseen edellä (taulukko 34) esitetyt nettosäteilyenergiamäärät vastaavina aikoina riittäisivät. Toukokuulla on ainoastaan yhdessä tapauksessa 13:sta säteilyenergiamäärä ollut riittämätön haihduttamaan kaikkea sateena saatua vesimäärää. Kesäkuulla on tällaisia tapauksia 6. Heinäkuussa on yhtenätoista vuotena saatu runsaammin energiaa kuin mitä vastaavan sademäärän haihduttamiseen tarvittaisiin. Elokuussa on 8 vuotena saatu sadetta runsaammin kuin energiaa ja muinakin vuosina on energiaylijäämä pienempi kuin edellisinä kuukausina. Syyskuussa riittää säteilyenergia vain 3 tapauksessa kaiken sadeveden haihduttamiseen. Erikoisesti on huomattava, että vesi voi varastoitua maahan ja tulee kasvullisuuden hyväksi käytetyksi, jos vain energiaa on kylliksi, kun sensijaan säteilyenergia muuttuu muiksi energiamuodoiksi sitä mukaa kuin sitä saadaankin. Siten voimme sanoa, että kevätkosteus tulee käytetyksi viimeistään heinäkuussa,kun taas kevään energiaylijäämät menevät hukkaan, ellei tällöin ole tarpeeksi vettä. Syksyllä taas lisääntyy kosteus maassa sen vuoksi, ettei ole tarpeeksi energiaa käytettävänä. Niille kasveille, joiden pääasiallinen kasvu tapahtuu touko-, kesä- ja heinäkuussa, on sademäärä ennen säteilyenergiaa minimitekijänä.

Olemme verranneet koelaitoksen viljelyskokeissa saatuja heinä- ja kaurasatoja sade- ja säteilyenergiamääriin vastaavina vuosina. Taulussa III on pisteviivalla esitetty niiden satojen suuruus, joiden kasvattamiseen eri vuosien sademäärät riittäisivät 250 suuruisella haihdutuskertoimella. Sademäärään sisältyy tällöin 70 mm kevätkosteutta, $^1/_3$ toukokuun sademäärästä sekä kesä- ja heinäkuun sademäärät. Katkonainen viiva esittää kuiva-ainesatoja, joihin nettosäteilyenergiasummat riittäisivät samalla haihdutuskertoimella. Näihin summiin on laskettu $^1/_3$ toukokuun säteilyenergiasta, kesä- ja heinäkuun säteilyenergiamäärät sekä $^2/_3$ elokuun säteilyenergiasta. Kaksoisviiva esittää kultasadekauran kokonaissatoja kasvinviljelysosaston laatukokeissa ja yksinkertainen, jatkuva viiva tuottokauran satoja kiertoviljelyskokeessa, jossa lannoitus, muokkaus ja maanlaatu eri vuosina ovat samanlaiset. Lisäksi on kuvioon vielä otettu kesä- ja heinäkuun keskilämpötila.

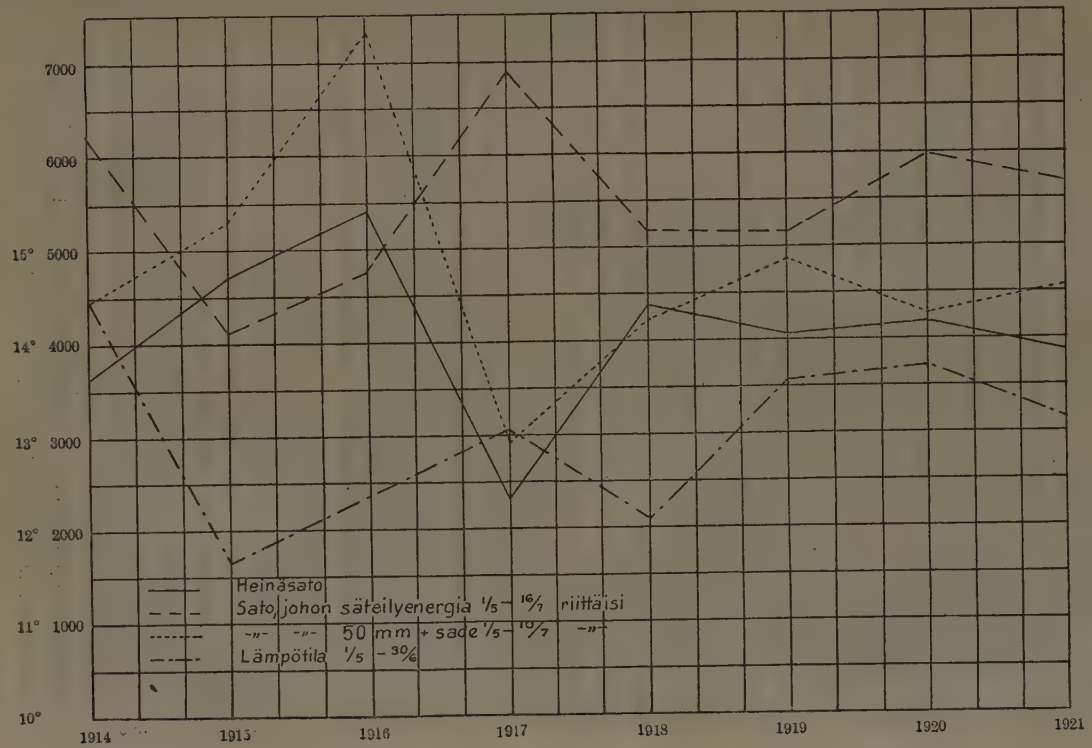
TAULU III.

Viljelyskokeissa saadut kaurasadot ja teoretisesti mahdolliset sadot 250 suuruisella haihdutuskertoimella eri vuosina.



TAULU IV.

Viljelyskokeissa saadut heinäsadot ja ne sadot, joihin säteilyenergia ja sade olisivat riittäneet haihdutuskertoimella 350 eri vuosina.



Taulukko 35.

a. Sademäärä, b. Vesimäärä, jonka haihduttamiseen nettoenergia riittäisi.

		Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Touko—syyskuu
1911	a	38	7	40	83	65	232
	b	112	80	86	84	15	377
1912	a	70	84	7	112	112	385
	b	36	39	115	40	—	223
1913	a	20	43	46	79	16	204
	b	94	72	97	68	65	396
1914	a	71	24	12	63	93	263
	b	96	91	132	56	25	399
1915	a	37	49	72	47	105	310
	b	68	65	81	47	21	282
1916	a	79	102	26	107	33	346
	b	83	63	106	39	48	339
1917	a	10	42	8	10	95	165
	b	121	105	104	95	42	467
1918	a	4	59	97	52	150	362
	b	131	46	79	44	38	338
1919	a	14	56	63	70	40	244
	b	87	67	118	82	52	405
1920	a	59	43	61	94	56	312
	b	103	95	91	52	38	379
1921	a	31	84	64	46	68	293
	b	130	74	63	111	39	416
1922	a	52	96	67	112	92	419
	b	89	66	88	52	30	325
1923	a	80	69	42	99	112	403
	b	83	52	125	58	42	360
1911—23	a	43	58	47	75	80	303
	b	95	70	99	64	35	362
Riittävä		12	7	11	5	3	7
Riittämätön		1	6	2	8	10	6

Taulussa IV on samalla tavoin verrattu toisiinsa sademääriä, nettosäteilyenergiamääriä ja kiertoviljelyskokeessa saatuja heinäsatoja. Sadot on laskettu 350 suuruiselle haihdutuskertoimelle ja sademääriin otettu 50 mm kevätkosteutta + touko- ja kesäkuun sademäärät sekä $^1/_3$ heinäkuun sademäärästä. Energiasummiin on laskettu touko- ja kesäkuun säteilymäärät sekä $^1/_2$ heinäkuun säteilystä.

Molemmissa kuvioissa noudattavat kasvien käytettävissä olevien vesimäärien ja saatujen satojen käyrät muutamaa poikkeusta lukuunottamatta selvästi toistensa kulkua. Kun sade- ja säteilyenergia-

käyrät kulkevat vastakkaisiin suuntiin, saadaan myös sadon ja säteilyenergian välille negatiivinen korrelatio. Kauralla ja heinällä on siis alkukesän sademäärä ollut sadon suuruuden määräävänä tekijänä. Niillekin kasveille, joiden pääasiallinen kasvu tapahtuu syksyllä, on keväällä kosteus minimitekijänä. Vasta jos ne ovat päässeet hyvään alkuun, voivat ne käyttää täydellisemmin hyväkseen säteilyenergian syksylläkin, jolloin energia joutuu minimitekijäksi. Myöskin ilman lämpötila voi joutua minimitekijäksi jolloin silläkin on vaikutusta sadon suuruuteen. Vuonna 1923 esim. olisi sade- ja säteilyenergiamäärien perusteella odottanut suurempia heinäsatoja kuin yleensä saatiin. Silloin esti kevätkesän alhainen lämpötila sateen ja energian täydellisemmän hyväksikäytön. Myös kauran jyväsato jäi alhaisen lämpötilan vuoksi verrattain alhaiseksi.

Keränen (1929) on kokonaan toista menettelyä käyttäen saanut samanlaisia tuloksia kauraan nähden maamme eteläosissa. Onkin syytä huomauttaa, etteivät esitetyt tulokset ole ilman muuta sovellutettavissa Pohjois-Suomen ilmasto-oloihin, joissa lämpötila usein voi tulla hallitsevaksi säätekijäksi.

Odén (1929, p. 915) on v. 1926 suoritetun viljelyskokeen perusteella esittänyt kasvien energiabilanssista seuraavan laskelman:

	10 vrk. $^{11}/_{7}$—$^{22}/_{7}$		100 vrk. $^{1}/_{6}$—$^{6}/_{9}$	
	kal/cm²	%	kal/cm²	%
Ulossäteily	2 030	38.7	17 900	41.4
Haihdutuslämpö	1 400	26.6	12 700	29.3
Heijastuminen	1 310	25.0	10 800	25.0
Lämmitys, johtuminen y. m.	305	5.8	1 420	3.3
Yhteyttäminen	204	3.9	416	1.0
Kokonaistulosäteily	5 250	100	43 240	100

Kun Odénin tutkimus joutui käsiimme oman esityksemme ollessa jo ladottuna, emme voi sitä tässä lähemmin tarkastella.

VI. Yhteenveto Maanviljelystaloudellisella koelaitoksella suoritetuista astiakokeista vv. 1920—23.

Vuosina 1920 ja 1923 tutkittiin eri säätekijöiden vaikutusta haihdutuskertoimeen. Vuonna 1920 olivat vertailussa varteenotettuina säätekijöinä ilman lämpötila ja kosteus, vuonna 1923 havainnoitiin myöskin säteilyenergiamäärät Michelsonin aktinometria ja aurinkoautografia käyttämällä. Kun säätekijöitä ei voida vaihdella, järjestettiin niiden vaihteluiden vaikutusten tutkimiseksi kasvien kehitysvaiheet eri aikoina kulkeviksi. Niinpä toimitettiin kylvö kumpanakin vuonna kolmena eri aikana. Korjuu suoritettiin sitten eri astioista vastaavilla kehitysvaiheilla. Koekasvina oli kumpanakin vuonna kaura.

Vuonna 1920 oli kosteusasteena 70—80 % kyllästyskosteudesta vastaten keskimäärin 5.4 l. vettä. Lannoituksena annetut ravintoainemäärät milligrammaioneissa litraa kohti vettä tulivat olemaan:

$Na^{\cdot}$	11	NO_3'	44
$K^{\cdot}$	30	SO_4''	7
$Ca^{\cdot\cdot}$	7	HPO_4'' [1]	6
$Mg^{\cdot\cdot}$	7	Cl'	7
$NH_4^{\cdot}$	37		

$Na^{\cdot}$ ja HPO_4'' annettiin Na_2HPO_4:na kolmessa, muut lannoitteet neljässä erässä kasvukauden kuluessa.

Kokeen tulokset on esitetty taulukossa 16.

Vuonna 1923 pidettiin astiat kosteusasteella, joka vastasi 60—70 % kyllästyskosteudesta. Vesimäärä oli keskimäärin 3.3 l. Lannoituksena annettujen ravintoaineiden konsentratiot 1 vesilitraa kohti tulivat olemaan milligrammaioneissa:

---

[1]) HPO_4''-konsentration on adsorption tähden täytynyt olla paljon alhaisempi kuin mitä sen arvoksi laskemalla saamme, mutta kun emme ole maanestettä analysoineet, emme voi luvulla ilmaista sitä.

$Na^{\cdot}$	6	NO_3'	55
$K^{\cdot}$	24	SO_4''	6
$Ca^{\cdot\cdot}$	6	H_2PO_4'	12
$Mg^{\cdot\cdot}$	6	Cl'	6
$NH_4^{\cdot}$	30		

$NH_4^{\cdot}$ ja sitä vastaava määrä NO_3' annettiin NH_4NO_3:na toisen korjuun jälkeen, muut kylvöpäivänä.

Tutkimustulokset on esitetty taulukoissa 26—32. Taulukoissa 27—29 on esitetty myöskin t—6°, joka on saatu siten, että kunkin päivätunnin lämpötilasta — mikäli se nousee yli 6° C — on vähennetty 6° ja jäännökset laskettu vuorokausittain yhteen. Päivätunneiksi on tällöin laskettu ne tunnit, joina säteilyintensiteti keskimäärin nousee yli 0.5 cal. minuutissa 1 cm^2 kohtisuoraa pintaa kohti.

Vuoden 1921 kokeilla tutkittiin eri sulfati-ionikonsentratioiden vaikutusta ohran ja herneen satoihin ja haihdutuskertoimiin sekä kohoavien ammoniumnitrati- ja natriumfosfatimäärien vaikutusta ohran satoon ja haihdutuskertoimeen.

Koeastiat täytettiin seuraavasti: n. 5.5 kg soraa, sen päälle 10 kg karkeata hiekkaa ja päällimmäiseksi 1.5 kg soraa. Kosteus pidettiin 55—65 %:ssa kyllästyskosteudesta vastaten 1 650—2 060 cm^3 vettä.

Lannoitukset ja kokeen tulokset on esitetty taulukossa 37.

Eri viljelyskasvien haihdutuskertointen vertailemiseksi on Maanviljelystaloudellisen koelaitoksen maanviljelyskemian osastolla suoritetuista tutkimuksista täydellä lannoituksella saadut haihdutuskertoimet yhdistetty taulukkoon 36. Vertailua vaikeuttaa se, että tulokset ovat eri vuosilta, jonka lisäksi lannoituskin vaihtelee. Kuitenkin on herneelle vuonna 1921 saatu huomattavasti pienempi haihdutuskertoin kuin ohralle huolimatta siitä, että typpilannoitus herneellä on paljon vähäisempi. Kauran haihdutuskertoin on taas ohran haihdutuskertointa suurempi samoissa olosuhteissa.

Taulukko 36.

Kasvilaji	Vuosi	Kosteusaste	Maanlaatu	Lannoitus	Kuivaainesato g	Haihdutuskertoin
Ohra	1914		Hiekka	1.33 g N, 1.18 g K_2O, 1.08 g P_2O_5	—	447
»	»		Savimulta	» » » » » » » » »	—	459
»	1915	55—75	»	1.25 » » 1.25 » » 1.25 » »	—	277
»	1916	45—65	Hiekka	2 » » 2 » » 2 » »	—	240
»	1921	55—64	»	2.1 » » 1.89 » » 1.42 » »	76.1	236
Kaura	1920	65—75	Multa	6.3 » » 1.89 » » 2.13 » »	238.9	307
»	1923	60—70	Suomulta	3.92 » » 3.78 » » 2.84 » »	191.1	283
Herne	1921	55—64	Hiekka	0.70 » » 1.41 » » 1.42 » »	27.7	209

Taulukko 37.

Vuoden 1921 astiakokeet.

Lannoitukset milligrammaionia 1 litrassa vettä.

Sulfatilannoituskoe herneellä. Kylvö $^{20}/_{5}$, korjuu $^{25}/_{7}$.

	Kuiva-aine-sato g	Haihdutus-kertoin
Peruslannoitus: 5 $Ca^{\cdot\cdot}$ + 5 $Mg^{\cdot\cdot}$ + 20 $Na^{\cdot}$ + 10 $K^{\cdot}$ + 25 NO_3' + (10 HPO_4'') + 5 Cl'	33.3	227
Peruslannoitus + 2 SO_4'' + 2 $Na^{\cdot}$ + 2 $K^{\cdot}$	34.3	224
Peruslannoitus + 5 SO_4'' + 5 $Na^{\cdot}$ + 5 $K^{\cdot}$	27.7	209
Peruslannoitus + 10 SO_4'' + 10 $Na^{\cdot}$ + 10 $K^{\cdot}$	21.3	192

Sulfatilannoituskoe ohralla. Kylvö $^{18}/_{5}$, korjuu $^{25}/_{7}$.

Peruslannoitus: 5 $Ca^{\cdot\cdot}$ + 5 $Mg^{\cdot\cdot}$ + 20 $Na^{\cdot}$ + 10 $K^{\cdot}$ + 25 $NH_4^{\cdot}$ + 50 NO_3' + (10 HPO_4'') + 5 Cl'	54.6	232
Peruslannoitus + 2 SO_4'' + 2 $Na^{\cdot}$ + 2 $K^{\cdot}$	60.3	220
Peruslannoitus + 5 SO_4'' + 5 $Na^{\cdot}$ + 5 $K^{\cdot}$	66.9	238
Peruslannoitus + 10 SO_4'' + 10 $Na^{\cdot}$ + 10 $K^{\cdot}$	66.7	224

Ammoniumnitratilannoituskoe ohralla. Kylvö $^{18}/_{5}$, korjuu $^{25}/_{7}$.

Peruslannoitus I: 5 $Ca^{\cdot\cdot}$ + 5 $Mg^{\cdot\cdot}$ + 15 $K^{\cdot}$ + 5 SO_4'' + (10 HPO_4'') + 5 Cl'	2.1	397
Peruslannoitus II: 5 $Ca^{\cdot\cdot}$ + 5 $Mg^{\cdot\cdot}$ + 20 $Na^{\cdot}$ + 15 $K^{\cdot}$ + 20 NO_3' + 5 SO_4'' + (10 HPO_4'') + 5 Cl'	49.6	242
Peruslannoitus II + 25 $NH_4^{\cdot}$ + 25 NO_3'	60.7	233
Peruslannoitus II + 50 $NH_4^{\cdot}$ + 50 NO_3'. Kaikki taimet kuolivat.		

Natriumfosfatilannoituskoe ohralla. Kylvö $^{18}/_{5}$, korjuu $^{25}/_{7}$.

Peruslannoitus: 5 $Ca^{\cdot\cdot}$ + 5 $Mg^{\cdot\cdot}$ + 20 $K^{\cdot}$ + 25 $NH_4^{\cdot}$ + 50 NO_3' + 5 SO_4'' + 5 Cl'	15.6	252
Peruslannoitus + (5 HPO_4'') + 10 $Na^{\cdot}$	60.7	230
Peruslannoitus + (10 HPO_4'') + 20 $Na^{\cdot}$	76.1	236
Peruslannoitus + (20 HPO_4'') + 40 $Na^{\cdot}$	51.3	211

VII. Loppukatsaus.

Kasvien vedenhaihduttamisprosessilla on ensiluokkaisen tärkeä osa kasvien vesi- ja energiataloudessa. Käyttäväthän kasvit keskimäärin 250—750 litraa vettä yhtä sadon kuiva-ainekiloa kohti. Yhden kuiva-ainekilon muodostamiseen kulutetun vesimäärän, haihdutuskertoimen, suuruudesta riippuu, kuinka suuria satoja samalla vesimäärällä voidaan saada veden ollessa minimitekijänä. Haihdutuskertoimen suuruudesta riippuu myöskin, kuinka suuri osa kasvien saamasta energiasta sitoutuu hyödylliseksi kemialliseksi energiaksi kasvien yhteyttämisprosessissa, sillä mitä suurempi haihdutuskertoin on, sitä suurempi on veden haihduttamisessa hukkaan menevä energiamäärä.

Koska haihdutuskertoin on kasvien käyttämän vesimäärän ja tuotetun kuiva-ainesadon suhde, vaikuttavat sen suuruuteen sekä ne tekijät, jotka vaikuttavat kuiva-ainesatoon että ne, jotka vaikuttavat haihdutusnopeuteen. Edellisiin kuuluvat kaikki kasvutekijät, jälkimmäisiin kyllästysvajaus ja tuulen nopeus.

Kasvutekijäin vaikutuksista kysymyksen ollen on pidettävä mielessä kasvutekijäin laki, jonka Valmari (1921, p. 5) on esittänyt yhtälöllä

$$\frac{dy}{dx} = k\,(W - x)$$

x = jonkun kasvutekijän arvo, y = sitä vastaava sadon arvo, dy = sadon lisäys kasvutekijän kasvaessa määrällä dx, W = saman kasvutekijän optimiarvo ja k = vakio.

Tästä yhtälöstä saadaan integroimalla

$$y = k\,(Wx - \frac{x^2}{2}) + C, \text{ jossa C on vakio.}$$

Tämä yhtälö esittää parabelia.

Sanoilla lausuttuna laki kuuluu:

Sadon suuruus riippuu ensi sijassa kulloinkin vähimmän suotuisasta kasvutekijästä.

Haihdutuskertoimen suuruuteen vaikuttavista olosuhteista on jo Hellriegel huomauttanut, että yleensä ne kasvutekijäin muutokset, jotka kohottavat satoa, alentavat haihdutuskertointa. Kysy-

mystä käsittelevien tutkimusten tarkastelu on osoittanut, että tätä päätelmää ainakin optimin alapuolella voidaan pitää yleisenä sääntönä.

Lannoitteissa annettujen kasvinravintoaineiden vaikutuksesta haihdutuskertoimen suuruuteen on esitetty useita tutkimuksia. Kasvinravintoionin konsentration kohoamista optimia kohti seuraa säännöllisesti haihdutuskertoimen aleneminen, ilman että sen kasvaminen optimin ohitse kuitenkaan aiheuttaisi yhtä selvää haihdutuskertoimen kohoamista. Typpilannoituksen vaikutus on selvimmin havaittavissa. Niinpä aleni eräässä HELLRIEGELin kokeessa ohran haihdutuskertoin 982:sta 338:aan lannoituksessa annetun nitratin konsentration kasvaessa. Myöskin kalilannoituksen vaikutus on sangen huomattava. Sensijaan tulee fosfatilannoituksen vaikutus näkyviin vasta suurilla fosfatimäärillä. Tämä johtuu fosfati-ionin voimakkaasta pidättymisestä maahan, jonka johdosta sen konsentratio ei kasva lähimainkaan samassa määrin kuin lannoituksena annetun fosfatin määrä. Sulfati-ioninkin konsentration kasvaessa haihdutuskertoin pienenee.

Maan fysikalinen tila, sen lämpötila, kosteus ja kuohkeus vaikuttavat kasvinravintoaineiden muuttumiseen kasveille sopivaan muotoon. Senvuoksi onkin maanmuokkauksella varsinkin typen liukenemismuutosten jouduttajana haihdutuskertointa alentava vaikutus.

Maan kosteuden vaikutusta haihdutuskertoimeen tutkittaessa ei kuitenkaan ole otettu huomioon sitä, että maan vesipitoisuuden lisääntyessä kasvinravintoaineiden konsentratiot pienenevät. Niinpä onkin saatu sellainen tulos, että maan kosteusasteen kasvaessa haihdutuskertoin suurenee, mikä ilmeisesti on johtunut siitä, että kasvinravintoainekonsentration pienenemisellä on ollut suhteellisesti voimakkaampi vaikutus haihdutuskertoimeen kuin vesipitoisuuden kasvamisella optimia kohti. Kuitenkin on selvästi huomattavissa, että haihdutuskertoimen nousu jyrkkenee kosteusasteen noustessa optimin yläpuolelle.

Säätekijäin vaikutusta haihdutuskertoimeen on vähimmän tutkittu. Tätä tutkimusta vaikeuttaa se, ettei yksityisten säätekijöiden vaikutusta voida erikseen tutkia. Kun vielä säteilyenergiamäärien, lämpötilan ja kyllästysvajauksen kulku yleensä on samansuuntainen, on eri tekijäin osuutta senkin takia vaikea arvioida. Maanviljelystaloudellisella koelaitoksella vv. 1920 ja 23 suoritetut kokeet, joissa on tutkittu energiasäteilyn, n. s. tehoisan lämpötilan t— 6°:n ja t—t′:n vaikutusta haihdutuskertoimeen ovat osoittaneet, että psykrometrin kuivan ja kostean lämpömittarin lämpötilaeron (t—t′) kasvaminen aina kohottaa haihdutuskertointa. Säteilyenergiamäärän lisääntyminen kohottaa lämpötilaa (t) ja suurentaa siten haih-

dutuskertointa. Kuitenkin on huomattavissa, että silloin, kun kasvuedellytykset ovat hyvät, on säteilyenergian ja t—6°:n haihdutuskertointa kohottava vaikutus pienempi kuin huonommilla kasvuedellytyksillä. Jos lämpötila laskee alle jonkun määrätyn rajan, aiheuttaa lämpötilan edelleen alentuminen jyrkän yhteyttämisen hidastumisen, jonka johdosta haihdutuskertoin kohoaa.

Haihdutuskertoimen kulku kasvukautena on sellainen, että silloin, kun assimilatio tapahtuu nopeimmin, mikä näkyy runsaimmasta päivittäisestä lisäkasvusta, on haihdutuskertoin pienin. Tästä kohdasta kasvukauden alkuun ja loppuun päin suurenee haihdutuskertoin. Ottaen tämä huomioon voidaan jo tarkastelemalla samaan aikaan kylvettyjen kasvien haihdutuskertoimien kulkua tutkia säätekijöiden vaikutusta haihdutuskertoimeen. Paremmin voidaan säätekijöiden vaikutusta seurata tarkastelemalla eri aikoina kylvettyjen kasvien haihdutuskertoimia.

Tutkimukset eri viljelyskasvien haihdutuskertointen määräämiseksi ovat antaneet hyvin erilaisia tuloksia. Tämä johtuu siitä, että eri viljelyskasveilla on ainakin muutamiin kasvutekijöihin, kuten esim. vetyionikonsentratioon ja lämpötilaan nähden erilaiset vaatimukset ja nämä tekijät ovat eri tutkijain kokeissa olleet milloin toiselle milloin toiselle viljelyskasville edullisemmat. Briggsin, Shantzin ja Piemeiselin tutkimukset ovat osoittaneet, että samankin viljelyskasvin eri laatujen vedenkäytössä saattaa olla yhtä suuria eroavaisuuksia kuin eri viljelyskasvienkin välillä. Kaikissa kokeissa on maissi osoittautunut erikoisen tehoisaksi vedenkäyttäjäksi. Meidän viljelyskasveistamme on saatu sokerijuurikkaalle alhaisin haihdutuskertoin.

Suorittamiemme energialaskelmien mukaan, joissa on tulopuolella otettu huomioon Ångströmin, Lunelundin ja omien mittaustemme sekä Ilmalassa vv. 1911—23 tehtyjen aurinkoautografihavaintojen perusteella saadut suoranaisen auringonsäteilyn ja hajasäteilyn kaloriasummat sekä menopuolella ulossäteilyn ja heijastumisen vuoksi hukkaan menevät energiamäärät, jää nettoenergiaksi toukokuun 1:sen ja syyskuun 30:nnen päivän välisenä aikana keskimäärin 21.7 kilokaloriaa cm^2:lle, mikä riittäisi 7 120 kilon kuiva-ainesadon muodostamiseen, jos haihdutuskertoin olisi 500. Touko—syyskuun sademäärä taas on Maatalouskoelaitoksella tuona aikana keskimäärin 303 mm. Jos tähän kevätkosteutena lisäämme 50 mm, saisimme sadoksi korkeintaan 7 060 kiloa samalla haihdutuskertoimella, jos kasteeksi tiivistyvä vesimäärä vastaisi maanpinnasta hukkaan haihtuvaa vesimäärää.

Vertaamalla toisiinsa eri kuukausien säteilymääriä sekä sateen haihduttamiseen tarvittavia energiamääriä huomataan, että touko-, kesä- ja heinäkuussa säteilevä energia harvoin saattaa joutua minimitekijäksi; sademäärä on tällöin suhteellisesti epäedullisempi. Elo- ja varsinkin syyskuussa on asiantila päinvastainen.

Yleensä on huomattava, että silloin kun säteilyenergiaa on runsaasti ja lämpötila lähinnä optimia, on sademäärä vähäinen. Epäkohtaa suurentaa vielä se, että haihdutuskertoin lämpiminä ja kuivina aikoina on suuri. Siten saattaa pitkä poutakausi kevätkesällä muodostua kasvullisuudelle tuhoisaksi.

Päätelmät.

Kasvien veden- ja energiankäytön tarkastelun tuloksina esitämme seuraavat päätelmät.

Haihdutuskertoimen suuruudella on kasvien veden- ja energiankäytössä ratkaiseva merkitys.

Maanviljelijä voi saada parhaiten hyväksikäytetyksi päivänpaisteen ja sademäärän:

1. Järjestämällä kylvönsä mahdollisimman aikaiseksi ja auttamalla typpilannoituksella kasvien nopeata kehittymistä, jotta kevätkosteus ja kevään runsaat säteilyenergiamäärät saataisiin hyväksi käytettyä.

2. Alentamalla haihdutuskertointa asianmukaisella lannoituksella ja muokkauksella.

3. Käyttämällä sellaisia kasvilajeja ja -laatuja, jotka vallitsevissa olosuhteissa ovat vedenkäyttöönsä nähden tehoisimpia. Aikaiset laadut ovat todennäköisesti tästäkin syystä suositeltavia.

4. Käyttämällä viljelystapoja, joissa mikäli mahdollista koko kasvukauden sade- ja säteilyenergiamäärät saadaan hyväksikäytettyä. Nurmi on tässä suhteessa erikoisen edullinen, kun sen yhteyttäminen alkaa heti lämpötilan noustua minimirajan yli ja loppuu vasta syksyllä lämpötilan laskettua sen alapuolelle.

5. Syventämällä ruokamultakerrosta, jolloin kasvien käytettäväksi tuleva vesimäärä kevätkosteuden muodossa kasvaa, samalla kuin kasveille tarjolla olevien kasvinravintoaineittenkin ja eritoten assimiloituvan typen määrät kohoavat.

6. Salaojittamalla peltoviljelyksensä.

7. Vastustamalla kaikilla käytettävissä olevilla keinoilla rikkaruohoja, jotka kuluttavat paitsi kasvinravintoaineita myöskin säteilyenergiaa ja vesivaroja.

KIRJALLISUUSLUETTELO.

ARLAND, ANTON 1929 — Das Problem des Wasserhaushaltes bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in kritisch-experimenteller Betrachtung (Wissenschaftliches Archiv für Landwirtschaft, Abt. A, **1**, p. 1—160).

BARTELS, J. 1929 — Die Wärmestrahlung der Erde (Die Naturwissenschaften, **17**, p. 584—586).

BRIGGS, L. J. ja SHANTZ, H. L. 1914 — Relative Water Requirement of Plants (Journal of Agricultural Research, **3**, p. 1—84 + 7 taulua).

— 1916 — Hourly Transpiration Rate on Clear Days as Determined by Cyclic Environmental Factors (Journal of Agricultural Research, **5**, p. 583—650 + 3 taulua).

— 1916 a — Daily Transpiration During the Normal Groth Period and Its Correlation with the Weather (Journal of Agricultural Research, **7**, p. 155—212 + 2 taulua).

— 1917 — The water requirement of plants as influenced by environment (Proc. Second Pan-Amer. Scientific Congress). Ref. MAXIMOV (1929, p. 315—316).

BURGERSTEIN, A. 1920 — Die Transpiration der Pflanzen II. Jena, 1920, p. I—VIII + 1—264.

DEHERAIN, P. P. 1892 — La transpiration des vegetaux et l'emploi des engrais (Annales Agronomiques, **18**, p. 465—486).

GEIGER, RUDOLF 1927 — Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig, 1927, p. I—XII + 1—246.

HELLRIEGEL, HERMAN 1883 — Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaus. Braunschweig, 1883, p. I—X + 1—796.

HOMÉN, THEODOR 1897 — Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlungen zwischen Himmel und Erde. Leipzig, 1897, p. 1—147.

KERÄNEN, J. 1929 — Vihdin ilmastosta (Vihti I, p. 92—117). Helsinki, 1929.

— 1929 a — Wärme- und Temperaturverhältnisse der obersten Bodenschichten (Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher 8. Einführung in die Geophysik II, p. 169—290). Berlin, 1929.

KING, P. H. 1918 — Irrigation and Drainage. New York, 1918, p. I—XXI + 1—502.

LAWES, J. B. 1850 — Experimental Investigation into the Amount of Water Given of by Plants during their Growth (Jour. Hort. Soc. London, 5, p. 38—83). Ref. LYON ja BUCHMAN (1922, p. 189).

LEATHER, J. W. 1910 — Water Requirements of Crops in India (Memoirs, Dept. Agr., India, Chem. Series, **1**, 8, p. 133—184).

— 1911 — — — — (— — — — 10, p. 205—281). Ref. LYON ja BUCHMAN (1922, p. 189).

LEMMERMAN, OTTO 1907 — Untersuchungen über einige Ernährungsunterschiede der Leguminosen und Gramineen und ihre wahrscheinliche Ursache (Die landwirtschaftlichen Versuchs-Stationen, **67**, p. 207—251).

Liebscher, 1895 — Untersuchungen über die Bestimmung des Düngerbedürfnisses der Ackerböden und Kulturpflanzen (Journal für Landwirtschaft, **43**, p. 49—216).

Lunelund, Harald 1924 — Über die Wärme- und Lichtstrahlung in Finland (Soc. Scient. Fenn. Comm. Phys.-Math. II. **11**, p. 1—947) 1924.

— 1926 — Pyranometrische Untersuchungen (Societas Scientiarum Fennica. Commentationes Physico-Matematicae. III. **5**., p. 1—18). 1926.

— 1927 — Pyranometrische Untersuchungen in Finland (Societas Scientiarum Fennica. Commentationes Physico-Matematicae. IV. **2**., p. 1—42). Berlin, 1927.

— 1928 — Lämmönsäteilystä Suomessa (Teknillinen Aikakauslehti, 1928, N:o 2, p. 81—96). Helsinki, 1928.

— 1929 — Registrierung der Sonnen- und Himmelsstrahlung in Helsingfors (Societas Scientiarum Fennica. Commentationes Physico-Matematicae. V. 6., p. 1—66 + 3 taulua). Berlin, 1929.

Lyon, T. Lyttleton ja Buchman, Harry O. 1922 — The nature and properties of soils. New York, 1922, p. 1—588.

Maximov, N. A. 1929 — The Plant in Relation to Water. London, 1929, p. 1—451.

Montgomery, E. G. ja Kiesselbach, T. A. 1912 — Studies in the water requirement of corn (Nebr. Agr. Exp. Sta. Bull. 128) Ref. Maximov (1929, p. 321).

Mosier, J. G. ja Gustafson, A. F. 1917 — Soil Physics and Management. Philadelphia, 1917, p. I—XII + 1—442.

Odén, Sven 1929 — Växtodling i elektriskt ljus (Kungl. Landtbruksakademiens Handlingar och Tidskrift). Stockholm, 1929. p. 898—1057.

Ohlmer, W. 1908 — Über den Einfluss der Düngung und der Bodenfeuchtigkeit bei gleichem Standraum auf die Anlage und Ausbildung der Ähre und die Ausbildung der Kolbenform beim Göttinger begrannten Squerhead-Winterweizen (Journal für Landwirtschaft, **56**, p. 153—171 + 4 taulua).

Rindell, Arthur 1917 — Maanviljelyskemiallisen ja suoviljelysosaston toiminta vuosina 1913 ja 1914 (Maanviljelys-taloudellinen koelaitos. Vuosikirja 1913—1914, p. 3—38). Helsinki, 1917.

— 1920 — Kertomus maanviljelyskemiallisen ja suoviljelysosaston toiminnasta vuosina 1915—1916 (Maanviljelys-taloudellinen koelaitos, Vuosikirja 1915—1916, p. 94—119). Helsinki, 1920.

Russell, E. J. 1921 — Soil Conditions and Plant Growth. 3. edition. London, 1921, p. I—XII + 1—406.

Rywosch, S. 1908 — Zur Stoffwanderung im Chlorophyllgewebe (Botan. Zeitg., **66**, p. 121). Ref. Burgerstein (1920, p. 226).

Shantz, H. L. ja Piemeisel, Lydia N. 1927 — The Water Requirement of Plants at Akron, Colo (Journal of Agricultural Research, **34**, p. 1093—1190).

von Seelhorst, C. 1899 — Über den Wasserbrauch der Haferpflanze bei verschiedenem Wassergehalt und bei verschiedener Düngung des Bodens (Journal für Landwirtschaft, **47**, p. 369—378).

von Seelhorst, C. ja Bünger, J. 1907 — Untersuchungen über den Einfluss von Wärme und Sonnenschein auf die Entwickelung des Hafers bei verschiedener Bodenfruchtbarkeit (Journal für Landwirtschaft, **55**, p. 233—245 + 1 taulu).

Seybold, A. 1929 — Die physikalischen Komponente der pflanzlichen Transpiration (Monographien aus dem Gesamtgebiet der wissenschaftlichen Botanik, II, p. 1—214). Berlin, 1929.

Simola, E. F. 1926 — Maanlaatujen ja kosteussuhteiden vaikutuksesta eräiden viljelyskasvien morfologisiin ominaisuuksiin, satoihin ja veden kulutukseen (Valtion Maatalouskoetoiminnan julkaisuja, N:o 2, p. 1—133 + 1—15). Helsinki, 1926.

— 1929 — Maanlaadun ja lannoituksen sekä kosteuden vaikutuksesta eräiden kaura- ja ohralaatujen morfologisiin vaihteluihin, satoihin ja veden kulutukseen (Valtion Maatalouskoetoiminnan julkaisuja, N:o 21, p. 1—91). Helsinki, 1929.

Snell, K. 1908 — Untersuchungen über die Nahrungsaufnahme der Wasserpflanzen (Flora, **98**, p. 213—249). Ref. Burgerstein (1920, p. 137—138).

Stahl, E. 1909 — Zur Biologie des Chlorophylles. Jena, 1909.

Süring, Reinhard 1927 — Leitfaden der Meteorologie. Leipzig, 1927, p. I—XII + 1—426.

Tulaikov, N. M. 1915 — Coefficients de transpiration des plantes cultivées (Jour. russ. de l'agric. exper., **16**, p. 36—76). Ref. Maximov (1929, p. 311).

— 1922 — Das Wasserbedürfnis der Pflanzen nach den Ergebnissen der Vegetationsversuche. (Ber. Landw. Landes-Vers. stat. zu Saratov, **3**, Lief. 1—2, p. 21—36; Lief. 3—4, p. 1—14. Russian, with German abstract). Ref. Maximov (1929, p. 311—312).

Valmari, J. 1921 — Beiträge zur chemischen Bodenanalyse (Acta Forestalia Fennica, **20**, p. 1—67). Helsinki, 1921.

Wegener, Alfred 1924 — Thermodynamik der Atmosphäre. Leipzig, 1924, p. I—VIII + 1—331.

Widtsoe, J. A. 1909 — Irrigation Investigations. Factors Influencing Evaporation and Transpiration (Utah Agr. Exp. Sta., Bul., **105**). Ref. Lyon ja Buchman (1922, p. 192).

— 1911 — Dry Farming, p. 185. Ref. Mosier ja Gustafson (1917, p. 242).

— 1914 — Principles of Irrigation Practice, p. 141. Ref. Mosier ja Gustafson (1917, p. 242).

Wollny, E. 1877 — Der Einfluss der Pflanzendecke und Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften und Fruchtbarkeit des Bodens. Berlin, 1877, p. 125. Ref. Lyon ja Buchman (1922, p. 189).

Ångström, Anders 1924 — Studier över Sverges strålningsklimat (Ymer, **44**, p. 1—23).

— 1928 — Recording solar radiation a study of the radiation climate of the surroundings of Stockholm (Meddelanden från statens meteorologisk-hydrografiska anstalt. Band 4. N:o 3, p. 1—36 + 2 taulua). Stockholm.

Der Wasserverbrauch der Pflanzen mit Berücksichtigung der Witterungselemente.

Referat.

Die Abteilung für Agrikulturchemie der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Finnland hat während der Jahre 1914—1916, 1920, 1921 und 1923 den Wasserverbrauch der Pflanzen unter verschiedenen äusseren Einflüssen untersucht. Prof. ARTHUR RINDELL (1917 und 1920) hat einen Bericht über die Versuche der Jahre 1914—1916 in den Jahrbüchern der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt von den Jahren 1913—1914 und 1915—1916 veröffentlicht. In dem vorliegenden Bericht werden die Untersuchungen von den Jahren 1920, 1921 und 1923 besprochen und die wichtigsten anderwärts auf diesem Gebiete ausgeführten Untersuchungen referiert. In den Versuchen vom Jahre 1923 wurde besonders die Einwirkung der Witterungselemente, Strahlung, Temperatur und relative Feuchtigkeit, auf den Wasserverbrauch der Pflanzen berücksichtigt.

Der Wasserverbrauch der Pflanzen wird oft mit einer Verhältniszahl gegeben, welche angibt, wieviel Gramm Wasser zur Produktion von 1 g oberirdischer Trockensubstanz benötigt wurde. Diese Verhältniszahl wird als Transpirationskoeffizient oder relativer Wasserverbrauch bezeichnet.

Aus der Definition des Transpirationskoeffizienten ergibt sich, dass die Grösse der Ernte in umgekehrtem Verhältnis zu dem Transpirationskoeffizienten steht soweit der zur Verfügung stehende Wasservorrat als Minimumfaktor wirkt. Wegen des grossen Energieverbrauches der Verdunstung des transpirierten Wassers kann der relative Wasserverbrauch der Pflanzen oder der Transpirationskoeffizient gelegentlich von ausschlaggebender Bedeutung für die Energiebilanz werden. Wenn die zur Wärmestrahlung und mechanischen Arbeit der Pflanzen verbrauchte Energie unberücksichtigt gelassen wird, kann z. B. folgende Berechnung über den Energieverbrauch aufgestellt werden:

Transpirationskoeffizient = 300		
Die Verdunstungswärme des Wassers	300 × 600 = 180 000	Kal.
Verbrennungswert der Pflanzenmasse	4 800	»
Zur Produktion von 1 kg Trockensubstanz	184 800	Kal.

In diesem Beispiele wird mithin nur 2. 6 % von der gesamten verbrauchten Energie in chemische Energie übergeführt.

Da der Transpirationskoeffizient das Verhältnis zwischen der transpirierten Wassermenge und der produzierten Trockensubstanz angibt, wird seine Grösse sowohl von denjenigen Faktoren abhängen, welche die Grösse des Trockensubstanzertrages als auch von denjenigen, die die Verdunstungsgeschwindigkeit des Wassers beeinflussen. Zu den erstgenannten gehören alle Wachstumsfaktoren, zu den letzteren die Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit.

Handelt es sich um die Wirkungen der Wachstumsfaktoren so hat man das Gesetz der Wachstumsfaktoren zu berücksichtigen, welches von VALMARI (1921, p. 5) mit folgender Gleichung ausgedrückt worden ist:

$$\frac{dy}{dx} = k\ (W - x),$$

wo x den Betrag irgend eines Wachstumsfaktors, y diesem Betrag entsprechenden Pflanzenertrag, W den Optimumwert des betreffenden Wachstumsfaktors und k eine Konstante bedeuten.

Die Integration dieser Gleichung gibt

$$y = k\left(Wx - \frac{x^2}{2}\right) + C,$$

wo C eine Konstante ist.

Diese Gleichung stellt eine Parabel dar. VALMARI hat dieses Gesetz mit folgenden Worten ausgedrückt: »Der Pflanzenertrag wird in erster Linie durch den jeweilig ungünstigsten Wachstumsfaktor bedingt».

Schon HELLRIEGEL hat darauf hingewiesen, dass im allgemeinen diejenigen Veränderungen der Wachstumsfaktoren, welche die Ernte erhöhen, den Transpirationskoeffizienten erniedrigen. Aus den diesbezüglichen Untersuchungen ergibt sich, dass dieser Ausspruch als eine allgemeine Regel gelten kann, solange die Beträge der Wachstumsfaktoren ihre optimalen Werte nicht überschreiten.

Über die Einwirkung der mit der Düngung zugegebenen Pflanzennährstoffe auf den Transpirationskoeffizienten sind mehrere Untersuchungen ausgeführt worden. Die instruktivsten von diesen sind die Gefässversuche von HELLRIEGEL (1883, p. 628—631) mit ansteigenden Stickstoff- und Kalizugaben im Sandboden (Tabelle 2, S. 15) und die von LIEBSCHER (1895, p. 210—214) mit Ton- und Sandboden ausgeführten Versuche (Tabelle 3—4, S. 16). In derselben und zahlreichen anderen Versuchen hat die Stickstoffdüngung am meisten den Transpirationskoeffizienten erniedrigt — in den Versuchen von HELLRIEGEL sogar bis zum dritten Teil des ohne Stickstoffdüngung erhaltenen Wertes. Kali- und Phosphatdüngung haben auch in den meisten Versuchen den Transpirationskoeffizienten herabgesetzt; besonders aber bei solchen Sandböden, deren Gehalt an Pflanzennährstoffen klein ist und wo die Adsorption nicht allzu grosse Störungen hervorruft. Auf Humus- und Tonböden dagegen war die Einwirkung der Düngung manchmal unsicher. (Vergl. vorliegende Abhandlung, Tabellen 13—14, S. 32—34). Dies lässt sich zum Teil durch reichlichen Gehalt der Versuchsböden an Pflanzennährstoffen, zum Teil durch die starke Adsorption von Phosphationen erklären. Infolge der Adsorption wächst die Konzentration der Phosphationen nicht proportional der mit der Düngung zugeführten Phosphatmenge. Unsere im J. 1921 ausgeführten Versuche (Tabelle 37, S. 71) zeigen, dass auch die Vermehrung der Sulfationenkonzentration den Transpirationskoeffizienten herabsetzt.

Der physikalische Zustand des Bodens, dessen Temperatur, Wassergehalt und Auflockerung beeinflussen das Löslichwerden der Pflanzennährstoffe. Deswegen kann die Bodenbearbeitung die Mobilisation des Nährstoffvorrats im Boden beschleunigen und dadurch auch als den Transpirationskoeffizienten beeinflussender Faktor auftreten (WIDTSOE, S. 19).

Bei den Untersuchungen über den Einfluss des Wassergehaltes auf den Transpirationskoeffizienten ist der Umstand unberücksichtigt geblieben, dass

bei der Zunahme des Wassergehaltes die Konzentration der Pflanzennährstoffe abnimmt. Die Resultate zeigen auch im allgemeinen, dass mit der Zunahme des Wassergehaltes auch der Transpirationskoeffizient zunimmt, welches offenbar darauf zurückzuführen ist, dass die Abnahme der Konzentration der Pflanzennährstoffe, in erster Linie der Nitrate, verhältnismässig mehr auf den relativen Wasserverbrauch eingewirkt hat, als die Zunahme des Wassergehaltes gegen den optimalen Betrag. Es lässt sich jedoch deutlich wahrnehmen, dass die Vermehrung des Transpirationskoeffizienten grösser wird, wenn der Wassergehalt über den Optimumwert ansteigt. Ein Versuch von Hellriegel (1883, p. 635—640) vom J. 1870 (mit Gerste als Versuchspflanze) sei als Beispiel angeführt. Die zur Düngung gegebenen Pflanzennährstoffmengen haben wir als Normalitätszahlen aufgestellt. Die Wassergehalte in Prozenten der Wasserkapazität, K'- und NO_3'-Konzentrationen, Trockensubstanzerträge und Transpirationskoeffizienten waren folgende:

Wassergehalt.....	5 %	10 %	20 %	30 %	40 %	60 %	80 %
K'-Konzentration .	0.0333-n	0.0167-n	0.0083-n	0.0056-n	0.0042-n	0.0028-n	0.0021-n
NO_3'-Konzentration	0.320 »	0.160 »	0.080 »	0.053 »	0.040 »	0.027 »	0.020 »
Trockensubstanzertrag, g	0.123	3.009	14.620	19.765	21.760	22.763	19.693
Tanspirationskoeffizient	935	180	168	223	216	240	277

Der Einfluss der Witterungselemente auf den relativen Wasserverbrauch ist besonders unvollständig untersucht worden. Derartige Untersuchungen werden daduch erschwert, dass der Einfluss jedes einzelnen meteorologischen Faktors für sich allein nicht untersucht werden kann. Die Einwirkung der einzelnen Faktoren ist schwer zu ermitteln, weil die Veränderungen der Gesamtstrahlung, der Temperatur und des Sättigungsdefizits im allgemeinen gleichgerichtet verlaufen. Die diesbezüglichen Versuche von Seelhorst und Bünger (1907, p. 233—245) sind in der Tabelle 9, S. 23 berücksichtigt. Die Ergebnisse der Untersuchungen von Briggs, Shantz und Piemeisel (Briggs und Shantz 1916, p. 207 und 592—597 und Shantz und Piemeisel 1927, p. 1144, 1152—1153) zeigen, dass die Verdunstungsgeschwindigkeit in erster Linie von der Strahlungsenergie abhängt (Tafel I—II, S. 25—26), wenn auch für die Wirkung des Sättigungsdefizits, die aus dem Unterschied der Temperaturen (t—t') des trockenen (t) und des feuchten (t') Thermometers ermittelt wird, grösserer Korrelationskoeffizient (r) erhalten worden ist (S. 27). Die Transpirationskoeffizienten verändern sich während der verschiedenen Jahre ähnlich wie die Temperatur, und die in »warmem» (27°C) und in »kaltem» (10—13°C) Gewächshause erhaltenen Transpirationskoeffizienten zeigen ein ähnliches Verhalten. Über die Resultate unserer Untersuchungen wird weiter im folgenden berichtet. Aus diesen ergibt sich, dass bei Zunahme von t—t' der relative Wasserverbrauch immer wächst. Ebenso steigt der Transpirationskoeffizient im allgemeinen, wenn die Intensität der Strahlung und die Temperatur grösser werden. Es ist jedoch zu bemerken, dass die Veränderungen der Strahlung und der Temperatur den Transpirationskoeffizienten weniger beeinflussen, wenn die Düngung reichlich und der Zuwachs der Pflanzen rasch ist. Die Pflanzen umwandeln dann verhältnismässig mehr Energie in der Assimilation. Sinkt die Temperatur unter eine bestimmte Grenze, wird die Assimilation durch die weitere Erniedrigung der Temperatur stark verzögert, und der relative Wasserverbrauch nimmt zu.

Der Gang des Transpirationskoeffizienten während der verschiedenen Wachstumsperioden ist derartig, dass die niedrigsten Werte erreicht werden, wenn die Assimilation am raschesten vor sich geht, d. h. wenn der tägliche Zuwachs der Trockensubstanz am grössten ist. Von diesem Wachstumsstadium an nimmt der Transpirationskoeffizient gegen Anfang und Ende der Vegetationszeit zu. Wird dies berücksichtigt, so kann der Einfluss der Witterungselemente auf den Transpirationskoeffizienten durch die Beobachtungen über die Veränderungen des relativen Wasserverbrauchs der gleichzeitig gesäten Pflanzen untersucht werden. Noch besser wird der Einfluss der meteorologischen Faktoren auf den Wasserbedarf aus den Transpirationskoeffizienten der zu verschiedenen Zeiten gesäten Pflanzen ersichtlich.

Die Untersuchungen zur Bestimmung des relativen Wasserverbrauchs verschiedener Kulturpflanzen sind im allgemeinen unter ungleichartigen und nicht gut vergleichbaren Vegetationsbedingungen ausgeführt worden. In Tabelle 12, S. 31 haben wir eine Zusammenstellung von den Transpirationskoeffizienten nach verschiedenen Forschern gegeben. Die Ergebnisse beziehen sich nicht nur auf verschiedene Länder und Jahre sondern auch der Versuchsboden sowie dessen Düngung und Wassergehalt haben variiert. Deswegen sind die Wasserbedarfszahlen der verschiedenen Forscher manchmal auch von ungleicher Grössenordnung. Zieht man noch in Betracht, dass die Vegetationsbedingungen verschiedener Kulturpflanzen wenigstens für einige Wachstumsfaktoren, wie z. B. betreffend Temperatur und $H^{\cdot}$-Konzentration, von einander abweichen, und dass diese Faktoren in verschiedenen Versuchen bald für diese bald für jene Kulturpflanze vorteilhafter gewesen sind, so kann auf Grund der besprochenen Versuche die Ökonomie des Wasserverbrauches der verschiedenen Pflanzenarten nicht beurteilt werden. Beachtenswert ist, dass der Mais in allen Versuchen einen ziemlich kleinen relativen Wasserverbrauch ergeben hat. Die Zuckerrüben haben den geringsten Transpirationskoeffizienten gezeigt. Die Versuchsresultate von Briggs, Shantz und Piemeisel (Shantz und Piemeisel 1927, p. 1094, 1172—1178) zeigen, dass zwischen den verschiedenen Sorten derselben Art gleich grosse Unterschiede vorkommen können wie zwischen verschiedenen Kulturpflanzen.

Bei der Berechnung der den Pflanzen verfügbaren Energie sind als Einnahmen die direkte Sonnenstrahlung, die diffuse Strahlung und die von den Luftströmungen mitgebrachten Energiemengen, als Ausgaben die Reflexion, die Ausstrahlung und die von den Luftströmungen weggeführten Energiemengen zu berücksichtigen. Der Überschuss der Einnahmen, die Nettoenergie, wird von den Pflanzen zur Verdunstung des Wassers, zur Assimilation u. s. w. verwendet. Die zur Transpiration verbrauchte Energie hat den bei weitem grössten Anteil an dem Energiehaushalt der Pflanzen.

Ångström (1924, p. 1—23 und 1928, p. 21) hat für Mittel-Schweden die Energiebilanz berechnet und dabei auch die aus der Oberfläche des Bodens und der Gewässer verdunsteten Wassermengen berücksichtigt. Die Resultate sind in der Tabelle 33 S. 59 angegeben. Obgleich bei der Berechnung die während der Sommermonate reflektierte Strahlung nicht berücksichtigt worden ist, wird die Differenz der Einnahmen und Ausgaben negativ, woraus erhellt, dass die Luftströmungen Wärme mitgebracht haben. Lundelund (1928, p. 94 und 1929, p. 25) hat auf Grund seiner Untersuchungen in Finnland die in der Tabelle auf der Seite 61 wiedergegebenen Zahlen über die direkte Sonnenstrahlung und diffuse Strahlung vorgelegt. Unter Benutzung dieser Zahlen und der Ergebnisse

unserer eigenen Messungen sowie der Sonnenautographbeobachtungen der Meteorologischen Station Ilmala haben wir die Energiemengen berechnet, die in Süd-Finnland in den Jahren 1911—1923 während der Sommermonate den Pflanzen zur Verfügung standen (Tabelle 34, S. 63). Die Nettoenergie der Monate Mai, Juni, Juli, August und September beträgt nach unseren Berechnungen durchschnittlich 21.7 Kal./cm². Diese Energiemenge ist ausreichend zur Produktion eines Trockensubstanzertrages von 7 120 kg, falls der Transpirationskoeffizient 500 beträgt. Die Regenmenge vom 1. V bis 30. IX war während dieser Jahre durchschnittlich 303 mm. Wird dazu 50 mm als Frühjahrsfeuchtigkeit des Bodens hinzugefügt, so wäre der Ertrag höchstens 7 060 kg mit demselben relativen Wasserverbrauch, vorausgesetzt, dass die als Tau kondensierte Wassermenge derjenigen entspricht, welche als Verdunstung aus der Bodenoberfläche verloren geht.

In der Tabelle 35 S. 67 sind die Regenmengen verschiedener Monate sowie diejenigen Wassermengen, welche mit den zu entsprechender Zeit zur Verfügung stehenden Nettoenergiemengen (vergl. Tabelle 34) verdunstet werden könnten, nebeneinandergestellt. Es gibt sich aus diesen Zahlen, dass die Strahlung nur selten im Mai, Juni und Juli ins Minimum geraten kann. Im August und besonders im September sind die Verhältnisse umgekehrt. Denjenigen Pflanzen, deren hauptsächlicher Zuwachs im Mai, Juni und Juli stattfindet, mangelt es meistens mehr an Wasser als an Strahlungsenergie. Dies ergibt sich deutlich aus den Tafeln III und IV, in denen die bei unseren Versuchen erhaltenen Hafer- und Heuerträge mit denjenigen Erträgen verglichen sind, die mit den vorhandenen Regen- und Energiemengen mit den angenommenen Wasserbedarfszahlen theoretisch möglich gewesen wären.

Ferner ist zu bemerken, dass die Regenmenge im allgemeinen klein ist, wenn Strahlungsenergie reichlich zur Verfügung steht und die Temperatur verhältnismässig hoch ist. Dieses Missverhältnis wird dadurch um so mehr fühlbar, dass der relative Wasserverbrauch zur warmen und trockenen Zeit gross ist. Deshalb kann eine länger andauernde Periode trockenen und sonnigen Wetter im Frühsommer der Vegetation geradezu verhängnisvoll werden.

Schlussfolgerungen.

Als Ergebnis aus den Betrachtungen über den Wasser- und Energieverbrauch der Pflanzen kann folgendes ausgesprochen werden:

Der Betrag des relativen Wasserverbrauchs hat eine grosse Bedeutung in dem Wasser- und Energiehaushalt der Pflanzen.

Der Landwirt kann die Regenmengen und den Sonnenschein am besten ausnützen:

1. Durch frühzeitiges Säen und durch Beschleunigung der Pflanzenentwicklung mit Stickstoffdüngung, zur besseren Ausnützung der vorhandenen Bodenfeuchtigkeit und der reichlichen Strahlungsenergiemengen des Frühjahres.

2. Durch die Verminderung des relativen Wasserverbauchs mit einer zweckmässigen Düngung und Bodenbearbeitung.

3. Durch die Anwendung von solchen Pflanzenarten und Pflanzensorten, deren Wasserausnützung möglichst effektiv ist. Die frühen Sorten sind wahrscheinlich auch in dieser Hinsicht empfehlenswert.

4. Durch die Anwendung von solchen Anbaumethoden, in denen die Wasser- und Energiemengen der Vegetationszeit möglichst gut ausgenützt

werden können. Das Gras ist in dieser Beziehung vorteilhaft, weil darin die Assimilation im Frühjahr beginnt, wenn die Temperatur eine bestimmte Grenze übersteigt, und im Herbst erst dann aufhört, wenn die Temperatur unterhalb der erwähnten Grenze sinkt.

5. Durch Vertiefung der Ackerkrume, wodurch die den Pflanzen zur Verfügung stehende Frühjahrsfeuchtigkeit und die Menge der assimilierbaren Pflanzennährstoffe, besonders des Stickstoffes wächst.

6. Durch Dränage der zum Ackerbau verwendeten Flächen.

7. Durch effektive, mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln ausgeführte Unterdrückung der Unkräuter, welche ausser Pflanzennährstoffen auch Strahlungsenergie und Wasser verbrauchen.

Die Ergebnisse der an der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in den Jahren 1920—1923 ausgeführten Gefässversuche.

Während der Jahre 1920 und 1923 wurden die Beziehungen zwischen den Witterungselementen und dem Transpirationskoeffizienten untersucht. Im Jahre 1920 wurden bei den Untersuchungen die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft berücksichtigt, im Jahre 1923 wurden auch die Strahlungsenergiemengen unter Anwendung von einem Aktinometer nach Michelson und einem Sonnenautographen bestimmt. Da die meteorologischen Faktoren nicht nach Belieben variiert werden können, wurden zur Untersuchung der Einwirkungen dieser Variationen die Versuche so angeordnet, dass jede Versuchspflanze gleichzeitig in verschiedenen Entwicklungsperioden angebaut und beobachtet wurde. Man hat nämlich die Samen zu drei verschiedenen Zeitpunkten gesät. Die Ernte wurde in den verschiedenen Versuchsgefässen bei gleichem Entwicklungsstadium der Pflanzen ausgeführt. Als Versuchspflanze wurde beide Jahre Hafer benutzt.

Im Jahre 1920 war der Wassergehalt des Bodens 70—80 % von der vollen Wasserkapazität, entsprechend 5.4 Liter Wasser pro Gefäss. Als Düngung wurden folgende Mengen von Pflanzennährstoffen in Milligrammionen pro Liter gegeben:

$Na^{\cdot}$	11	NO_3'	44
$K^{\cdot}$	30	SO_4''	7
$Ca^{\cdot\cdot}$	7	HPO_4'' [1])	6
$Mg^{\cdot\cdot}$	7	Cl'	7
$NH_4^{\cdot}$	37		

$Na^{\cdot}$ und HPO_4'' wurden als Na_2HPO_4 in drei Portionen, andere Nährstoffe in vier Portionen während der Wachstumsperiode gegeben.

Die Resultate sind in der Tabelle 16, S. 35 dargestellt.

Im Jahre 1923 schwankte der Wassergehalt der Gefässe von 60 bis 70 % von der Sättigungskapazität. Die Wassermenge betrug durchschnittlich

[1]) Die Konzentration der HPO_4'' muss wegen der Adsorption viel kleiner sein als sich aus den Berechnungen ergibt, aber da wir die Bodenlösung nicht analysierten, können wir auch nicht die wirkliche HPO_4''-Konzentration mit einer Zahl angeben.

·3 3 Liter. Die Konzentrationen der zugegebenen Pflanzennährstoffe in Milligrammionen pro Liter waren folgende:

$Na^{\cdot}$	6	NO_3'	55
$K^{\cdot}$	24	SO_4''	6
$Ca^{\cdot\cdot}$	6	H_2PO_4'	12
$Mg^{\cdot\cdot}$	6	Cl'	6
$NH_4^{\cdot}$	30		

$NH_4^{\cdot}$ und NO_3' wurden als NH_4NO_3 nach der zweiten Ernte, andere Nährstoffe gleichzeitig mit der Aussaat gegeben.

Die Ergebnisse der Versuche sind in der Tabelle 31 auf der Seite 54 angegeben. Daraus ersehen wir die Transpirationskoeffizienten, die Mehrerträge pro Tag und Vegetationsperiode, die durchschnittlichen Temperaturen, die Kaloriesummen und die Unterschiede zwischen den Temperaturen des trockenen und des feuchten Thermometers.

In den Versuchen vom Jahre 1921 wurde die Wirkung verschiedener Sulfationenkonzentrationen auf den Ertrag und auf den relativen Wasserverbrauch der Gerste und der Erbse sowie die Einwirkung ansteigender Ammoniumnitrat- und Natriumphosphatmengen auf den Ertrag und auf den Transpirationskoeffizienten der Gerste untersucht.

Die Versuchsgefässe wurden folgenderweise beschickt: ca 5.5 kg Kies, darauf 10 kg grober Sand und auf die Oberfläche noch 1.5 kg Grus. Der Wassergehalt wurde immer bei 55—65% von der Sättigungskapazität, entsprechend 1650—2060 ccm Wasser, gehalten.

Die Düngung (in Milligrammionen pro 1 Liter Wasser) und übrige Versuchsdaten sind in der Tabelle 37 wiedergegeben.

Um die Transpirationskoeffizienten verschiedener Kulturpflanzen vergleichen zu können, sind die mit Volldüngung erhaltenen Koeffizienten in der Tabelle 36 zusammengefasst. Das Vergleichen der Zahlen mit einander wird dadurch erschwert, dass dieselben von verschiedenen Jahren herrühren und dass dabei noch die Düngung nicht gleich war. Jedoch hat man für die Erbse deutlich kleinere Transpirationskoeffizienten erhalten als für die Gerste trotzdem den Erbsen weniger Stickstoffdüngung gegeben wurde. Der relative Wasserverbrauch des Hafers dagegen ist unter denselben äusseren Verhältnissen grösser als derjenige der Gerste.

Tabelle 36.

Pflanzenart	Jahr	Wassergehalt	Bodenart	N g	Düngung K_2O g	P_2O_5 g	Ertrag, Trockensubstanz g	Transpirationskoeffizient
Gerste	1914	—	Sand	1.33	1.18	1.08	—	447
»	»	—	humoser Ton	»	»	»	—	459
»	1915	55—75	» »	1.25	1.25	1.25	—	277
»	1916	45—65	Sand	2	2	2	—	240
»	1921	55—64	»	2.1	1.89	1.42	76.1	236
Hafer	1920	65—75	humoser Boden	6.3	1.89	2.13	238.9	307
»	1921	60—70	Niederungsmoor	3.92	3.78	2.84	191.1	283
Erbse	1921	55—64	Sand	0.70	1.41	1.42	27.7	209

Tabelle 37.

Die Gefässversuche im Jahre 1921.

Sulfatdüngungsversuch mit Erbse, Aussaat 20/5, Ernte 25/7.

		Trockensubstanzertrag g	Transpirationskoeffizient
Grunddüngung:	5 $Ca^{\cdot\cdot}$ +5 $Mg^{\cdot\cdot}$ +20 $Na^{\cdot}$ +10 $K^{\cdot}$ +25 NO_3' +(10 HPO_4'') +5 Cl'	33.3	227
Grunddüngung	+ 2 SO_4'' + 2 $Na^{\cdot}$ +2 $K^{\cdot}$	34.3	224
Grunddüngung	+ 5 SO_4'' + 5 $Na^{\cdot}$ +5 $K^{\cdot}$	27.7	209
Grunddüngung	+10 SO_4'' +10 $Na^{\cdot}$ +10 $K^{\cdot}$	21.3	192

Sulfatdüngungsversuch mit Gerste, Aussaat 18/5, Ernte 25/7.

Grunddüngung:	5 $Ca^{\cdot\cdot}$ +5 $Mg^{\cdot\cdot}$ +20 $Na^{\cdot}$ +10 $K^{\cdot}$ +25 $NH_4^{\cdot}$ +50 NO_3' +(10 HPO_4'') +5 Cl'	54.6	232
Grunddüngung	+ 2 SO_4'' + 2 $Na^{\cdot}$ + 2 $K^{\cdot}$	60.3	220
Grunddüngung	+ 5 SO_4'' + 5 $Na^{\cdot}$ + 5 $K^{\cdot}$	66.9	238
Grunddüngung	+10 SO_4'' +10 $Na^{\cdot}$ +10 $K^{\cdot}$	66.7	224

Ammoniumnitratdüngungsversuch mit Gerste, Aussaat 18/5, Ernte 2/7.

Grunddüngung I:	5 $Ca^{\cdot\cdot}$ +5 $Mg^{\cdot\cdot}$ +20 $Na^{\cdot}$ +15 $K^{\cdot}$ +10 SO_4'' +(10 HPO_4'') +15 Cl'	2.1	397
Grunddüngung II:	5 $Ca^{\cdot\cdot}$ +5 $Mg^{\cdot\cdot}$ +20 $Na^{\cdot}$ +15 $K^{\cdot}$ +20 NO_3' +5 SO_4'' +(10 HPO_4'') +5 Cl'	49.6	242
Grunddüngung II	+25 $NH_4^{\cdot}$ +25 NO_3'	60.7	233
Grunddüngung II	+50 $NH_4^{\cdot}$ +50 NO_3' Alle Pflanzen sind gestorben.		

Natriumphosphatdüngungsversuch mit Gerste, Aussaat 18/5, Ernte 25/7.

Grunddüngung:	5 $Ca^{\cdot\cdot}$ +5 $Mg^{\cdot\cdot}$ +20 $K^{\cdot}$ +25 $NH_4^{\cdot}$ +50 NO_3' +5 SO_4'' +5 Cl'	15.6	252
Grunddüngung	+ (5 HPO_4'') +10 $Na^{\cdot}$	60.7	230
Grunddüngung	+ (10 HPO_4'') +20 $Na^{\cdot}$	76.1	236
Grunddüngung	+ (20 HPO_4'') +40 $Na^{\cdot}$	51.3	211

Die Bedeutung der Tabellenüberschriften.

Allgemeine Überschriften.

Tammikuu = Januar
Helmikuu = Februar
Maaliskuu = März
Huhtikuu = April
Toukokuu = Mai
Kesäkuu = Juni
Heinäkuu = Juli
Elokuu = August
Syyskuu = September
Lokakuu = Oktober
Marraskuu = November
Joulukuu = Dezember

Haihdutuskertoin = Transpirationskoeffizient
Kasvujakso = Vegetationsperiode
Keskilämpötila = mittlere Temperatur
Kuiva-ainesato = Trockensubstanzertrag
Lannoitus = Düngung
Mg-ekv. litrassa = Mg-Äquivalenten pro Liter
Sato = Ertrag

T a u l u k k o (= Tabelle) 2. N mg-ekv. astiata kohden = Milligrammäquivalenten N pro Gefäss; NO_3' mg-ionia 1 litrassa nestettä = Milligrammionen NO_3' pro 1 Liter Flüssigkeit.

T a u l u k k o 3. Savi = Ton; ilmakuiva sato = lufttrockener Ertrag; vedenkulutus 1 g kohti = Wasserverbrauch pro 1 g; hiekka = Sand.

T a u l u k k o 4. P ilman N = P ohne N; P N:n ohella = P mit N; N ilman P = N ohne P; N P:n ohella = N mit P.

T a u l u k k o 9. Aika = Zeit; kasvukauden pituus vrk. = Dauer der Vegetationszeit in Tagen; päivänpaistetuntien lukumäärä = die Zahl der Sonnenscheinstunden; kertausastioita = Parallelgefässe; sadonlisäys = Mehrertrag; kasvukautena = während der Vegetationsperiode; päivässä = in einem Tag.

T a u l u k k o 12. Kasvilaji = Pflanzenart; maissi = Mais; ohra = Gerste; vehnä = Weizen; ruis = Roggen; kaura = Hafer; herne = Erbse; härkäpapu = Pferdebohne; vikkeri = Wicken; puna-apila = Rotklee; timoteiheinä = Timothegras; turnipsi = Turnips; porkkana = Mohrrübe; sokerijuurikas = Zuckerrübe; peruna = Kartoffel.

T a u l u k k o 13. Hiekkamaalla = auf Sandboden; kasvuaika vrk. = Vegetationsperiode Tage; savimaalla = auf Tonboden; mutamaalla = auf Niederungsmoorboden.

T a u l u k k o 16. Astiakokeet v. 1920 = Gefässversuche vom J. 1920; kylvö ja lannoitus = Aussaat und Düngung; kasvuaika = Vegetationszeit; t—t' klo 2 p keskimäärin = t—t' Mittelwert um 14 Uhr; lisäkasvu päivässä keskimäärin = mittlerer täglicher Zuwachs; kasvujaksojen = der Vegetationsperioden; kylvö 11/5 lannoitettu = Aussaat 11/5 gedüngt; lannoittamaton = ungedüngt.

T a u l u k k o 31. Astiakokeet = Gefässversuche; sarja = Serie; summa = Summe; kaloria = Kalorie; lisäkasvu vuorokaudessa = täglicher Zuwachs; sadonlisäys kasvujaksona = Mehrertrag pro Vegetationsperiode.

Taulukko 33. Tulopuoli = Einnahmen; menopuoli = Ausgaben; suoranainen auringonsäteily = direkte Sonnenstrahlung; hajasäteily = diffuse Strahlung; yhteensä = Summe; ulossäteily = Ausstrahlung; heijastunut = reflektierte Menge; veden haihduttaminen = Verdunstung des Wassers; eroitus = Rest.

Taulukko 34. Säteilynettoenergiamäärät Ilmalassa vv. 1911—1923 = Nettoenergiemengen der Strahlung in Ilmala in den Jahren 1911—1923;

Widtsoe, Seite 19. Hietasavi = Lehmboden; savi = Tonboden; haraamaton = ungeeggt; harattu = geeggt.

Briggs und Shantz, Seite 23. Kylmä kasvihuone = kaltes Gewächshaus; lämmin kasvihuone = warmes Gewächshaus; vehnä = Weizen; ohra = Gerste; kevätruis = Sommerroggen; kaura = Hafer; sinimailanen = Luzerne.

Briggs und Shantz, Seite 27. Säteilyenergia = Strahlungsenergie; lämpötila = Temperatur; evaporatio (mat. ast.) = Verdunstung aus flachen Gefässen; syv. ast. = aus tiefen Gefässen; tuulen nopeus = Geschwindigkeit des Windes.

Taulu (=Tafel) I. Haihdutusnopeuden, säteilyn, lämpötilan, kuivan ja kostean lämpömittarin lämpötilaeron ja tuulen nopeuden vuorokautinen kulku Briggsin ja Shantzin mukaan = Täglicher Gang der Verdunstungsgeschwindigkeit, der Strahlung, der Differenz t—t′ und der Geschwindigkeit des Windes nach Briggs und Shantz.

Taulu II. Kauran, ohran, kevätvehnän ja maissin haihdutuskertoimet sekä keskilämpötila, sademäärä ja evaporatio eri vuosina Briggsin ja Shantzin kokeissa = Die Transpirationskoeffizienten von Hafer, Gerste, Sommerweizen und Mais sowie mittlere Temperatur, Regenmenge und Verdunstung in verschiedenen Jahren bei den Versuchen von Briggs und Shantz. H. k. = Transpirationskoeffizient; kaura = Hafer; ohra = Gerste; vehnä = Weizen; maissi = Mais; sade = Regen.

Taulu III. Viljelyskokeissa saadut kaurasadot ja teoretisesti mahdolliset sadot 250 suuruisella haihdutuskertoimella eri vuosina = Die den Versuchen erzielten Hafererträge und die dem Transpirationskoeffizienten 250 entsprechenden theoretisch möglichen Erträge in verschiedenen Jahren. Kultasadekauran sato = Ertrag des Goldregenhafers; tuottokauran sato = Ertrag des Tuottohafers; sato, johon säteilyenergia riittäisi — Högstertrag bei der betreffenden Strahlungsenergie; sade = Regen.

Taulu IV. Viljelyskokeissa saadut heinäsadot ja ne sadot, joihin säteilyenergia ja sade olisivat riittäneet haihdutuskertoimella 350 eri vuosina = Bei den Versuchen erzielten Heuerträge und Erträge, deren Produktion bei dem Transpirationskoeffizienten 350 mit den vorhandenen Strahlungsenergie- und Regenmengen in den verschiedenen Jahren noch möglich gewesen wäre. Heinäsato = Heuertrag; sato, johon säilyenergia riittäisi = Ertrag, zu dessen Produktion die Strahlungsenergie noch ausreichen würde; sade = Regen.